

Treball de Fi de Màster

Màster Universitari d'Enginyeria Industrial

Disseny d'instal·lacions fotovoltaïques en edificis residencials d'àrea urbana

MEMÒRIA

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Autor: Aina Sans Cura
Director: Milagros Rey Porto
Ponent: Roberto Villafàfila Robles
Convocatòria: Gener 2017



Resum

Aquest TFM tracta l'aplicació de sistemes de generació fotovoltaica distribuïda i emmagatzematge en nuclis urbans. Aquesta aplicació és especialment important degut al gran consum energètic que es produeix en les ciutats i per a apostar així per objectius a més llarg termini, com seria l'autosuficiència energètica en ciutats. Primerament, es fa un estudi de l'art de les parts que determinen aquests projectes, tant a nivell tecnològic, com legislatiu i ambiental. En segon lloc, es fa el dimensionament i l'estudi de viabilitat de 3 instal·lacions reals a la ciutat de Barcelona com a aplicació de tot el mencionat anteriorment i en tercer lloc, l'estudi d'altres opcions per l'aplicació de generació fotovoltaica en diferents tipus d'edificis, mitjançant la simulació de corbes de demanda. D'aquesta manera, s'intenta donar una visió global dels avantatges i inconvenients d'aquestes instal·lacions en espais urbans per poder-ne valorar el grau de maduresa i desenvolupament.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
Índex d'il·lustracions	7
Índex de taules.....	9
Índex d'equacions	10
1. INTRODUCCIÓ	10
1.1. Objectius del projecte	11
1.2. Abast del projecte.....	11
2. DEFINICIÓ D'UN SISTEMA DE GENERACIÓ FOTOVOLTAICA	13
2.1. Implantació de la generació fotovoltaica	14
2.2. Dimensionament i localització	14
2.3. Balanç energètic i estudi econòmic.....	16
3. ESTAT DE L'ART DE LES PLAQUES FOTOVOLTAIQUES	17
3.1. Evolució de la producció de FV	18
3.2. Impacte ambiental	20
4. ESTAT DE L'ART DE LES BATERIES	21
4.1. Tipus de bateries	22
4.2. Funcionament de les bateries liti-ió	23
4.2.1. Mercat de les bateries de liti ió	25
5. ESTAT DE L'ART DE L'ELECTRÒNICA DE POTÈNCIA ASSOCIADA A LA GENERACIÓ FOTOVOLTAICA	27
5.1. Regulador de càrrega.....	27
5.2. Inversor.....	28
5.2.1. Funcionament d'un inversor	28
5.2.2. Tipus d'inversors	28
6. LEGISLACIÓ ACTUAL EN QÜESTIÓ D'AUTOCONSUM A L'ESTAT ESPANYOL	31
6.1. Càlcul dels costos associats al consum de xarxa, la generació i l'emmagatzematge	33
6.2. Diferents legislacions en qüestió d'autoconsum en altres països	33
6.2.1. Abocament de l'excedent.....	34
6.2.2. Venda d'energia generada.....	34

6.2.3.	Balanç net.....	34
6.2.4.	Certificats Verds Negociables (Tradable Green Certificates)	35
7.	SISTEMA D'ANÀLISI DELS CASOS ESTUDIATS	37
7.1.	Generació de perfils.....	37
7.2.	Algoritme d'optimització de la gestió energètica.....	37
7.2.1.	Casos d'estudi inclosos.....	39
7.2.2.	Condicions de contorn	40
7.2.3.	Característiques de l'algoritme.....	41
7.2.4.	Resultat de l'optimització	41
7.3.	Resultat de costos i beneficis de l'optimització	42
7.4.	Estudi de les condicions de generació.....	42
8.	EXEMPLE 1: EDIFICI 9 PLANTES	43
8.1.	Estudi de la demanda	43
8.2.	Simulació de la generació.....	44
8.3.	Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada	46
8.3.1.	Pressupost i estudi econòmic	48
9.	EXEMPLE 3: EDIFICI 3 PLANTES	51
9.1.	Estudi de la demanda	51
9.2.	Simulació de la generació.....	52
9.3.	Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada	53
9.3.1.	Pressupost i estudi econòmic	56
10.	EXEMPLE 1: EDIFICI 18 PLANTES	57
10.1.	Estudi de la demanda	57
10.2.	Simulació de la generació.....	57
10.3.	Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada	59
10.3.1.	En l'edifici 1.....	59
10.3.2.	En l'edifici 2.....	62
11.	IMPACTE AMBIENTAL DE LES INSTAL·LACIONS PLANTEJADES	65
12.	ESTUDI DE NOVES POSSIBILITATS D'IMPLANTACIÓ DEL SISTEMA DE GENERACIÓ I EMMAGATZEMATGE	69
12.1.	Primer cas: CAP	71
12.1.1.	Ànalisi de la simulació.....	71
12.1.2.	Pressupost i viabilitat econòmica	73
12.2.	Segon cas: Edifici d'oficines.....	74
12.2.1.	Ànalisi de la simulació.....	74

12.3. Tercer cas: Edifici del poliesportiu	75
12.3.1. Anàlisi de la simulació	76
12.3.2. Pressupost i viabilitat econòmica	78
13. PRESSUPOST DEL PROJECTE	79
CONCLUSIONS I POSSIBLES PROPOSTES DE FUTUR	81
AGRAÏMENTS	83
BIBLIOGRAFIA	84

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1. Esquema simplificat d'una instal·lació FV amb bateria i connexió a la xarxa (font: Internet) _____	13
Il·lustració 2. Distribució de la irradiància al llarg del dia i de la simplificació en HSE _____	15
Il·lustració 3. Energia generada (kWh) per a cada tipus de PV al llarg del dia (sistema fix, un eix i dos eixos) a l'estat espanyol _____	18
Il·lustració 4. Evolució dels preus de mòduls de silici cristal·lí respecte la producció acumulada _____	19
Il·lustració 5. Distribució de la producció de fotovoltaica a nivell mundial. Font: (4) _____	19
Il·lustració 6. Distribució de tipus de bateries dins del mercat (a nivell d'utilities). Font: (9) _____	21
Il·lustració 7. Comparació de gràfics de la disminució del número de cicles en funció del DoD de Liti-ió vs Plom-àcid. Font: Albufera Energy Storage i (21) _____	24
Il·lustració 8. Vida útil de la bateria segons la temperatura (font: Catàleg de productes de bateries Fronius) _____	24
Il·lustració 9. Evolució prevista dels preus \$/kWh per aplicacions estacionàries desglossades segons la seva magnitud (23) _____	25
Il·lustració 10. Situació dels comptadors per al control del consum _____	32
Il·lustració 11. Discriminació horària segons tarifes d'electricitat _____	40
Il·lustració 12. Mapa del consum horari de les zones comunitàries de l'edifici _____	43
Il·lustració 13. Simulació de les ombres i distribució dels panells FV al terrat _____	45
Il·lustració 14. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes en l'edifici de 9 plantes _____	45
Il·lustració 15. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró d'estiu _____	48
Il·lustració 16. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró base _____	48
Il·lustració 17. Mapa de consums horaris de l'edifici de 3 plantes _____	51
Il·lustració 18. Façana de l'edifici de 3 plantes i la paret mitjanera entre edificis _____	52

Il·lustració 19. Situació de les plaques FV en la mitjanera	52
Il·lustració 20. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes	53
Il·lustració 21. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró d'estiu	55
Il·lustració 22. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró base	55
Il·lustració 23. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes	58
Il·lustració 24. Distribució de plaques fotovoltaïques a l'edifici 2	58
Il·lustració 25. Distribució de plaques fotovoltaïques al terrat de l'edifici 1	58
Il·lustració 26. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes	59
Il·lustració 27. Perfils de consum, generació i de càrrega i descàrrega de la bateria	61
Il·lustració 28. Perfils de consum, generació, descàrrega de bateria i energia de xarxa durant dos dies de març	61
Il·lustració 29. Resultats finals amb la bateria seleccionada	63
Il·lustració 30. Distribució energètica per a la instal·lació de l'edifici 2 durant l'estiu	63
Il·lustració 31. Distribució energètica per a la instal·lació de l'edifici 2 pel patró base	64
Il·lustració 32. Distribució segons orígens de l'energia per cobrir la demanda de l'edifici	164
Il·lustració 33. Previsió d'evolució de costos dels components d'autoconsum de FV amb emmagatzematge de liti-ió. Font: Blommborg, Cost reductions and residential storage drivers	69
Il·lustració 34. Mapa de consum horari d'un CAP	71
Il·lustració 35. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per al gener	72
Il·lustració 36. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per al juliol	73
Il·lustració 37. Mapa de consum horari d'un edifici d'oficines	74
Il·lustració 38. Mapa de consum horari d'un poliesportiu	76

Il·lustració 39. Distribució de freqüència dels valors de consum de xarxa en el cas de bateria DE 7,5 kWh	77
Il·lustració 40. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per una setmana d'abril del poliesportiu	77
Il·lustració 41. Corbes de demanda, generació, càrrega i descàrrega de la bateria per a una setmana del poliesportiu	78

Índex de taules

Taula 1. Resum de característiques de tecnologies de bateries. Font: (10)	22
Taula 2. Resum de característiques segons el tipus d'inversors. Font: (4)	29
Taula 3. Càrrecs per l'energia consumida en funció de la potència segons el RD 900/2015	31
Taula 4. Càrrecs per la potència de generació instal·lada a en funció de la potència contractada segons el RD 900/2015	32
Taula 5. Diferents casos estudiats per a l'optimització	39
Taula 6. Dades meteorològiques de Barcelona per a la simulació	44
Taula 7. Resum de resultats amb diferents capacitats de bateria	46
Taula 8. Balanç de costos de la instal·lació d'autoconsum per a l'edifici de 9 plantes	47
Taula 9. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici de 9 plantes	49
Taula 10. Escenaris per a l'estudi de viabilitat econòmica	50
Taula 11. Resultats de les simulacions provat amb diferents capacitats de bateria	53
Taula 12. Balanç de costos de la instal·lació d'autoconsum	54
Taula 13. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici de 3 plantes	56
Taula 14. Resultats de les simulacions de l'edifici 1 amb diferents capacitats de bateria	59
Taula 15. Balanç econòmic de la instal·lació per a l'edifici 1	60
Taula 16. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici 1 (cobrir la demanda de l'edifici 2)	62

Taula 17. Resum de resultats amb diferents bateries instal·lades a l'edifici 2	62
Taula 18. Balanç anual de la instal·lació de PV+ emmagatzematge	63
Taula 19. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici 2 (cobrir la demanda de l'edifici 1)	64
Taula 20. Impacte ambiental de la instal·lació per a l'edifici de 9 plantes	67
Taula 21. Impacte ambiental de la instal·lació per a l'edifici de 3 plantes	68
Taula 22. . Impacte ambiental de les instal·lacions per al cas de l'edifici de 18 plantes (edifici 1 i 2)	68
Taula 23. Distribució de l'energia generada per la fotovoltaica	70
Taula 24. Resultats obtinguts en les simulacions per a la corba de demanda del CAP	72
Taula 25. Pressupostos per cada cas de bateries possibles del CAP	73
Taula 26. Resum de resultats del consum elèctric considerant l'autoconsum en cada cas	75
Taula 27. Resum de resultats del consum elèctric considerant l'autoconsum en cada cas	76
Taula 28. Pressupost del sistema generació i emmagatzematge del poliesportiu	78
Taula 29. Pressupost del treball realitzat tenint en compte els costos directes i indirectes	79

Índex d'equacions

Equació 1. Balanç d'energia del sistema FV per a la cobertura de la demanda	38
Equació 2. Funció a optimitzar que contempla la compra/venda d'energia	39
Equació 3. Límits de l'algoritme per a l'energia comprada i l'energia injectada	40
Equació 4. Limitació de l'energia de càrrega i descàrrega de la bateria	40
Equació 5. Definició de l'estat de càrrega en l'algoritme	41

Introducció

Aquest TFM té com a objectiu un anàlisi de la implantació de la fotovoltaica i emmagatzematge en una situació actual i propera. Partint de zero, es busca la manera de desenvolupar un seguit d'eines i tècniques generalistes per tenir una primera idea del que suposaria una instal·lació de fotovoltaica i emmagatzematge en un cas concret. En cap cas tracta de redactar projectes en ferm i definitius, sinó fer un estudi tenint en compte els paràmetres més rellevants.

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és l'estudi tècnic i l'anàlisi econòmic per a la implantació d'un sistema de generació fotovoltaica amb emmagatzematge. Per això, s'analitza casos concrets per poder abstraure un model genèric sobre la viabilitat d'aquests sistemes. Per tenir una visió actualitzada de la situació que afecta a aquestes instal·lacions es realitza també un estudi de l'estat de l'art de cadascun dels dispositius que el conformen i de l'entorn legal que es pot trobar la instal·lació.

1.2. Abast del projecte

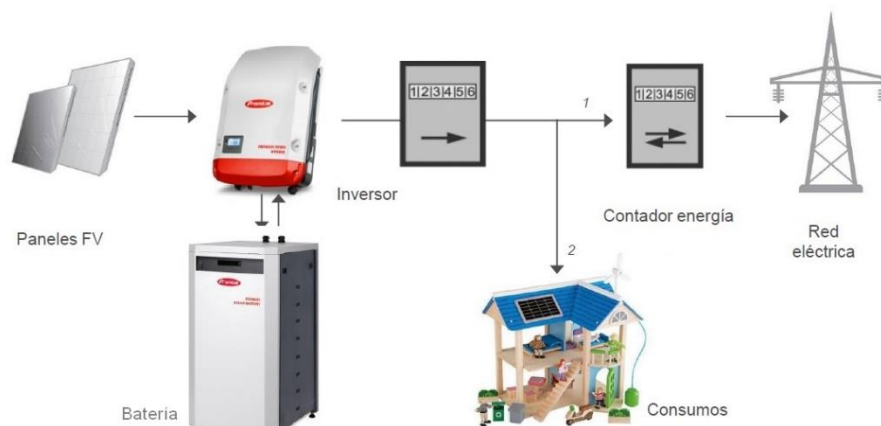
Aquest TFM estudia centralment la gestió d'energia entre la generació local, la demanda, un sistema d'emmagatzematge i el possible abocament a la xarxa i la seva posterior anàlisi econòmica. Al llarg del càlculs del treball no es tenen en compte les pèrdues energètiques degudes al cablejat. Tampoc es contempla la instal·lació dels sistemes de mesura necessaris segons la legislació ni s'entra en l'electrònica de tots els dispositius que ho conformen.

2. Definició d'un sistema de generació fotovoltaica

L'energia solar és una de les fonts d'energia accessibles del qual se'n pot treure més profit i pot ser utilitzada a través de diferents mètodes, en forma de calor o d'electricitat. L'energia solar pot ser convertida en energia tèrmica amb l'ajuda de col·lectors solars o en energia elèctrica a través de plaques fotovoltaïques tal i com explica el document (1).

Un sistema de generació amb plaques fotovoltaïques consta de diverses parts que són: les plaques fotovoltaïques, l'inversor, el regulador, el cablejat, elements de seguretat (tant de corrent contínua (CC) com de corrent alterna (CA)) i opcionalment, la bateria que serveix com acumulador d'energia i la connexió amb la xarxa.

En el cas de connexió amb la xarxa, a més d'aquests dispositius, també formen part de la instal·lació els comptadors que s'acostumen a situar a la sortida de la generació i a la connexió amb la xarxa. En el cas que es plantegi l'abocament d'electricitat a la xarxa provinent de la generació, aquest últim comptador ha de ser bidireccional.



Il·lustració 1. Esquema simplificat d'una instal·lació FV amb bateria i connexió a la xarxa (font: Internet)

En aquest sistema la generació prové de les plaques fotovoltaïques que transformen l'energia solar en energia elèctrica. Aquesta energia generada pot tenir diferents usos: pot servir per a cobrir la demanda del mateix productor, ser emmagatzemada en la bateria per ser utilitzada posteriorment o ser abocada a la xarxa i així rebre'n una contraprestació (si la regulació ho permet). L'inversor transforma la CC provinent dels panells i de la bateria en CA pel seu abocament a la xarxa o el consum elèctric i el regulador gestiona la càrrega i descàrrega de la bateria.

2.1. Implantació de la generació fotovoltaica

La tecnologia de la fotovoltaica es troba en període d'expansió, ja que la seva aplicació en la vida quotidiana és encara reduïda però en creixement. Tot i els avanços que es van donant en aquest camp existeixen diverses barreres que impossibiliten la seva aplicació.

Deixant a banda la producció de grans dimensions en parcs fotovoltaics, la generació fotovoltaica de forma distribuïda està enfocada a la instal·lació en llocs on té presència com una alternativa a l'energia actual, però de forma no aïllada. El fet d'existir legislacions excessivament restrictives i contraproduents lligat a una lenta reducció de preus de la tecnologia produeix que en aquest àmbit la seva expansió sigui lenta i costosa. D'altra banda, altres situacions on l'energia fotovoltaica seria plantejada com una instal·lació aïllada (com a única font d'energia) sovint són àrees rurals que no disposen ni de grans infraestructures ni fonts de finançament per instal·lar-se. Les conclusions que se n'extreuen d'aquests casos són que per millorar-ne la situació i facilitar l'aplicació s'hauria de proporcionar un bon servei post-venda i manteniment però en realitat aquest acostuma a ser dèbil o inexistent, fet que també implica dificultats a l'hora de ser triat com a una opció real per part de l'usuari, com analitza el document (2).

Una altra barrera que existeix és el cost de la fotovoltaica davant d'altres fonts d'energia convencionals, ja que els costos associats a la instal·lació d'un sistema PV acostumen a ser majors a altres energies; a més a més, són fonts d'energia poc previsibles, la producció no és controlable fet que produeix que hagin de sorgir estratègies per fer-hi front: o la demanda s'adapta a l'oferta d'energia generada (que comporta un sobre esforç per l'usuari) i/o s'inclouen sistemes que n'adaptin la demanda, com sistemes d'emmagatzematge que, per altra banda, també incrementen el preu.

Altres obstacles que poden aparèixer són de tipus polític. Com ja es comentarà més endavant, l'estratègia des de les institucions pot afavorir o perjudicar-ne la seva expansió: superar els tràmits burocràtics, la difusió de les energies renovables que se'n fa o l'ús de les taxes que ho graben poden ser decisions cabdals en aquest aspecte. Especialment aquesta última qüestió, marca grans diferències en la seva aplicació: una legislació impulsora d'aquest tipus d'energies, inclou retribucions pel fet d'utilitzar-les o reducció de les taxes en el consum de la xarxa com a al·licients per implantar-la.

2.2. Dimensionament i localització

La instal·lació d'un sistema de generació és una acció lligada a moltes variables segons el lloc i les seves característiques. Inicialment s'ha de considerar quina funció tindrà aquell sistema: font alternativa d'energia, instal·lació aïllada, funcionament per emergències... El cas estudiat per aquest treball és com a font alternativa d'energia ja que es manté la connexió a la xarxa

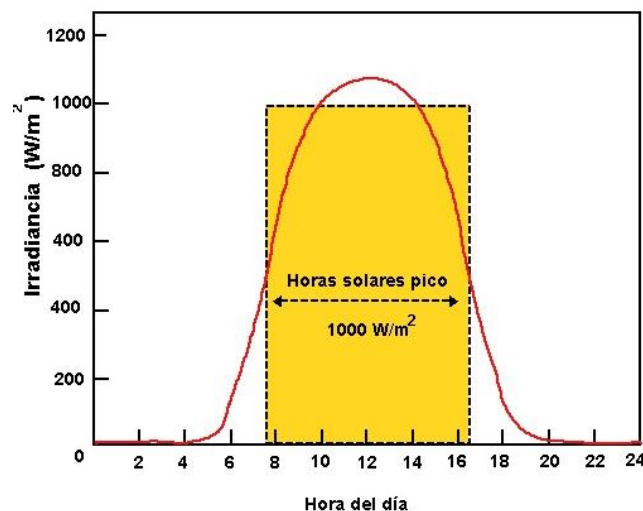
dels seus usuaris i té un funcionament constant. Existeixen altres casos de plantes FV que serveixen únicament per a la generació, de manera que s'injecta tot a la xarxa.

L'energia generada per part de les plaques fotovoltaiques està condicionada per la potència pic instal·lada i les condicions de l'indret: la insolació, les ombres, la temperatura, el tipus de fixació, l'orientació... afectaran al rendiment i aprofitament de les plaques fotovoltaiques. Per això, el procediment per al disseny d'aquest tipus d'instal·lacions segueix els següents passos:

- Anàlisi de les necessitats a cobrir
- Determinació de la radiació incident al pla i la superfície útil on s'instal·len els mòduls
- Definició dels elements del sistema
- Estimació del balanç energètic mensual i anual

Les necessitats a cobrir marquen a grans trets les dimensions de la instal·lació i els seus components depenent del tipus de connexió a la xarxa, la necessitat o no de bateria...

A continuació per al dimensionament és necessari conèixer la irradiància de la superfície plana on s'instal·len els mòduls. Aquesta irradiància se situa en les hores centrals del dia i s'expressa en forma de "Hores Solares Equivalents".



Il·lustració 2. Distribució de la irradiància al llarg del dia i de la simplificació en HSE

La radiació incident en el mòdul FV depèn de la seva inclinació i orientació dels panells i de la latitud del lloc de la instal·lació. Pel que fa l'orientació es defineix mitjançant l'azimut que és l'angle entre la direcció sud i la projecció horitzontal del sol. L'azimut solar té valor igual a zero per una superfície orientada perfectament al sud, és positiu cap a l'est i negatiu mesurat cap a l'oest entre -180° i 180° . En la majoria de casos estudiats, es pren com a inclinació 30° que maximitza la insolació al llarg de tot l'any, ja que existeixen altres situacions que es vol maximitzar la radiació a l'hivern de tal manera que angle és diferent. Un altre aspecte a tenir en compte a l'hora d'estudiar la irradiació dels panells, és reconèixer les pèrdues per ombres

d'edificis o estructures properes. L'efecte de les ombres sobre les radiacions rebudes és difícil d'estimar, i no es pot donar un mètode simple per avaluar-lo, inclús de manera grollera. En aquest TFM s'utilitzen programes de simulació per tal de conèixer quin efecte produeix.

En quant a la selecció dels panells fotovoltaics, s'han de tenir diferents característiques en compte: la tecnologia, les dimensions, l'eficiència o la potència pic són imprescindibles per fer-ne la tria i que hauran d'anar en concordança amb la resta de dispositius que formen la instal·lació com ara l'inversor, tenint en compte la suma de potències pic dels mòduls fotovoltaics, o la bateria, a partir de la capacitat que es necessita per dotar d'autonomia per al consums assignats, segons el document (3).

Pel que fa al transport de l'energia, es duu a terme a través de línies elèctriques, normalment cables conductors. En aquest treball no s'entra en la selecció concreta per als casos estudiats però es considera que es contemplen les característiques (material, rigidesa, secció) i la manera d'instal·lació del cable per complir amb els criteris establerts pel *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)* d'intensitat màx. admissible pels conductors en règim permanent, de caiguda de tensió màx. admissible i d'intensitat màx. admissible pels conductors en cas de curtcircuit. Altres aspectes que no s'expliciten en el treball són la posada a terra i el mecanismes de seguretat que també s'han de contemplar per al disseny exhaustiu.

2.3. Balanç energètic i estudi econòmic

En quant al balanç energètic s'ha d'analitzar primerament si les necessitats seran cobertes i en el cas d'energia sobrant, comprovar si s'utilitza per a l'emmagatzematge o per l'abocament a la xarxa. En els casos estudiats, es decideix en funció de la minimització dels costos per al client, però poden haver-hi altres objectius com la màxima disponibilitat d'energia a les bateries (com seria un SAI) o la minimització de les emissions.

En el cas de la instal·lació de la bateria s'ha d'analitzar quin aprofitament es fa de l'energia generada gràcies a la flexibilitat que ofereix l'emmagatzematge.

Diferents factors com el patró de la demanda, la tarifa contractada, la distribució de la generació fotovoltaica, la capacitat de la bateria o el preu de venda de l'energia poden fer variar la distribució en el balanç energètic i per tant el funcionament de tot el sistema.

Una vegada provat el bon funcionament del sistema de generació (i emmagatzematge) s'ha de contemplar que la simulació tècnica tingui viabilitat econòmica en funció dels paràmetres que es marquin (indicadors de rendibilitat, períodes de retorn...). Per exemple, dins dels costos d'instal·lació s'ha de tenir en compte en l'estudi tècnic i econòmic que el sistema requereix un manteniment constant que comprèn el reemplaçament periòdic de les bateries (entre cada 15 i 20 anys, depenent del model i l'ús que se'n faci) i les plaques fotovoltaïques (entre 20 i 25 anys), així com la inspecció periòdica necessària.

3. Estat de l'art de les plaques fotovoltaïques

La tecnologia fotovoltaica actualment se situa en les etapes d'investigació i d'implantació en funció del material i funcionament que presenten. D'aquesta forma, existeixen tecnologies de cel·les com el cas del silici monocristal·lí i el silici policristal·lí que es consideren aptes per la seva implantació i actualment copen el 91% (36% i 55% respectivament) de la producció històrica global segons documents de l'institut Fraunhofer(4). Aquestes tecnologies són identificades com tecnologies de fotovoltaica de primera generació, ja que el silici és el material més utilitzat en la indústria fotovoltaica i un dels minerals més abundants. Es fabrica a partir d'un únic cristall o silici policristal·lí fos tallat en oblees de 10 x 10 cm amb gruixos de 350 µm. Aquestes cel·les presenten eficiències entre 13 i 16% en funció del material i la tecnologia concreta de la cel·la. Els productors d'aquest tipus de mòduls fotovoltaics presenten garanties de 20-25 anys amb el 80% de la seva capacitat com a mínim.

El 9% restant es calcula que està ocupat per les plaques fotovoltaïques de capa fina, que són conegudes com tecnologies fotovoltaïques de segona generació. Aquestes tot i no tenir unes eficiències tan altes com les de Si, se situen entre el 7 – 10% de rendiment (en situacions de laboratori s'ha arribat al 12,7%), presenten avantatges respecte les de silici monocristal·lí com les de silici policristal·lí:

- Tal i com el seu nom indica, al tenir un gruix més petit comporta que s'utilitzi menys material per m²
- En les mostres estudiades es pot observar que la dependència entre l'eficiència i la temperatura és menor (de l'ordre 0,2%/°C davant de 0,4%/°C), pel que davant l'augment de temperatura l'eficiència, que tendeix a disminuir, no es veu tan afectada.

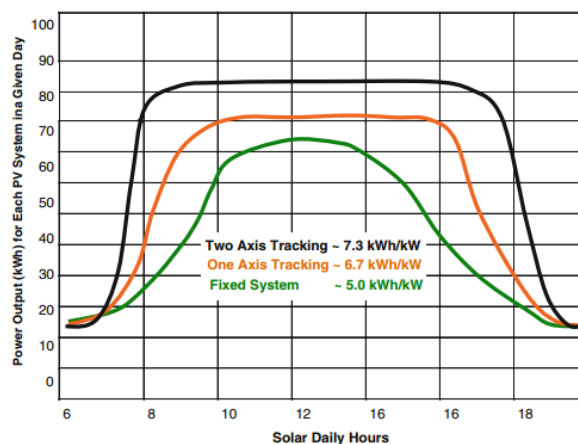
Gràcies a la seva lleugeresa, poden ser instal·lades en estructures que no puguin suportar grans càrregues i al ser flexibles poden adaptar-se a diverses formes que requereixi les superfícies on s'instal·lin. Els materials més utilitzats en aquests casos són el Silici amorf, el teluri de Cadmi i cèl·lules de Coure Indi Gal·li Diselenur (CIGS/CIS) segons el document (5), tot i que aquests dos últims presenten uns preus elevats en comparació a altres materials com el silici.

Si es presenten en forma de panells flexibles, es poden orientar quan l'espai disponible pel camp de captació està desviat o en qualsevol situació en la que la orientació sigui inadequada i a més, ocupen relativament menys espai que els mòduls cristal·lins ja que a l'estar sobre el terra (no necessiten sistemes de suport) no es generen ombres que tapin la insolació a les altres.

Per altra banda, la 3a generació inclou un seguit de tecnologies com les cel·les solars orgàniques o les de multi-unió que encara es troben a nivell de laboratori però els resultats teòrics que s'estan obtenint són esperançadors: a laboratori s'ha arribat a una eficiència del 46% (per part de Soitec-Fraunhofer ISE, al desembre de 2014 amb una cel·la de 4 unions). Això és gràcies a les diferents capes que formen la cel·la fotovoltaica que cadascuna de què

les formen “atrapen” un rang de longitud d’ona diferent, de tal manera que l’energia solar és més aprofitada.

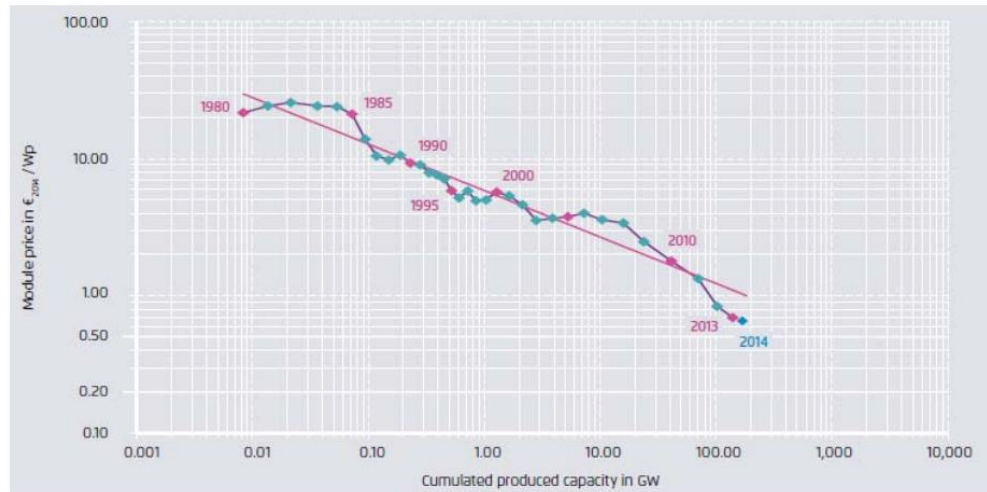
Una altra manera de caracteritzar els sistemes fotovoltaics és segons les diferents de subjecció. D’aquesta manera, es poden diferenciar tres tipus d’estructures: estructura fixa, amb un eix de gir i amb dos eixos de gir. Aquests graus de llibertat que s’afegeixen a l’estructura (a través dels eixos) serveixen perquè el panell estigui orientat al sol i rebí el màxim de radiació en tot moment i així optimitzar-ne el funcionament. En el cas, d’una estructura fixa es pren una orientació única que optimitza la recepció d’irradiació al total de l’any (com s’ha especificat en l’apartat 2.2.).



Il·lustració 3. Energia generada (kWh) per a cada tipus de PV al llarg del dia (sistema fix, un eix i dos eixos) a l'estat espanyol

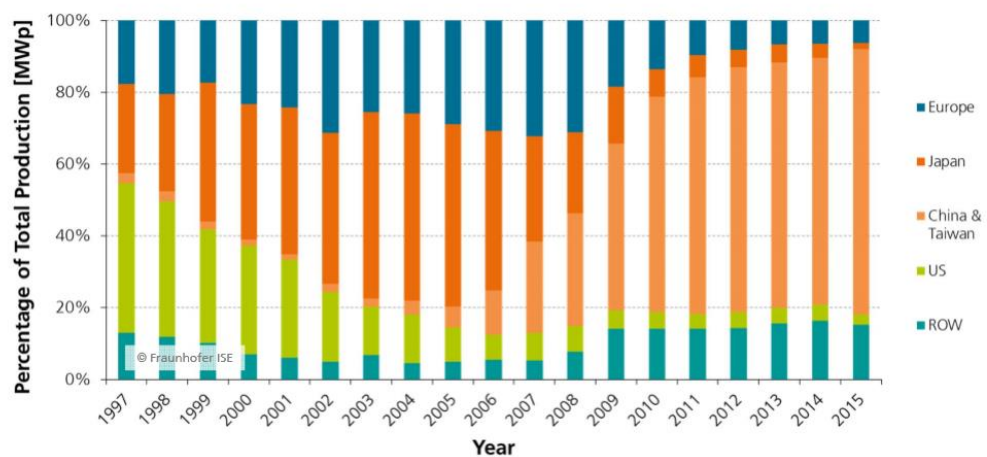
3.1. Evolució de la producció de FV

Una de les claus pel desenvolupament de qualsevol tecnologia fotovoltaica és la reducció de costos associada a les economies d'escala. A mesura que augmenta la producció, se cerquen tècniques per reduir-ne el material sobrant així com per millorar-ne els processos. Aquest fet ha estat evident en el desenvolupament dels mòduls de silici cristal·lins i probablement ho serà per a les altres tecnologies en desenvolupament. L'evolució es pot analitzar amb l'índex de preus per €/Wp. Aquest índex ha anat disminuint al llarg dels anys degut a l'entrada de grans productors mundials en el mercat com Xina, que han presentat un creixement exponencial. Durant les dècades dels 80 i dels 90, el cost de la fotovoltaica de silici va tenir un comportament irregular amb certa tendència a la baixa, però no va ser fins al 2006 que va iniciar una davallada important (en aquells moments els preus se situaven al voltant del 2€/Wp) que va representar que en 5-6 anys el cost se reduís a la meitat, trencant la barrera psicològica d'1€/Wp entre 2011-2012. En aquests últims anys, la fotovoltaica ha passat a la producció en massa consolidant-ne el sector, fins a arribar al 2015 a un cost de 0,5 €/Wp (6).



Il·lustració 4. Evolució dels preus de mòduls de silici cristal·lí respecte la producció acumulada

Des de finals dels anys 90, la producció fotovoltaica mundial majoritària va passar-se de produir-se als EEUU i Japó a la Xina i Taiwan en qüestió d'una quinzena d'anys (1997-2012), mantenint-se la mateixa tendència aquests últims anys. Així, com Europa i els EEUU ha tingut un creixement continu i lineal de manera que s'ha anat reduint la seva presència al mercat mundial enfront a Xina i Taiwan que han multiplicat la seva producció anual més de 10 vegades en 6 anys, de 4 a 40 GW produïts (2009-2015) segons l'estudi de Fraunhofer (4). Aquests grans creixements són deguts a la internacionalització de la producció, destinant-la a països amb mà d'obra barata i legislacions mediambientals més laxes.



Il·lustració 5. Distribució de la producció de fotovoltaica a nivell mundial. Font: (4)

3.2. Impacte ambiental

Tot i que les plaques fotovoltaïques representen una energia renovable s'ha de contemplar la petjada ecològica que comporten. Les cel·les fotovoltaïques més esteses (silici monocristal·lí i silici policristal·lí) tenen un procés estandarditzat de fabricació que inclou etapes com l'extracció, la purificació, la cristal·lització, l'enriquiment i la producció dels mòduls. Les etapes necessàries per obtenir l'obla de Si, representen entre el 60-80% de l'energia consumida de la producció. Aquest procés requereix una gran quantitat d'energia, i s'estima que un mòdul fotovoltaic ha de funcionar aproximadament 2 anys (en funció de la tecnologia, ja que en el cas del silici policristal·lí es presenten menys etapes de cristal·lització) per a produir l'energia que va ser necessària per a la seva producció com s'indica en l'informe (7).

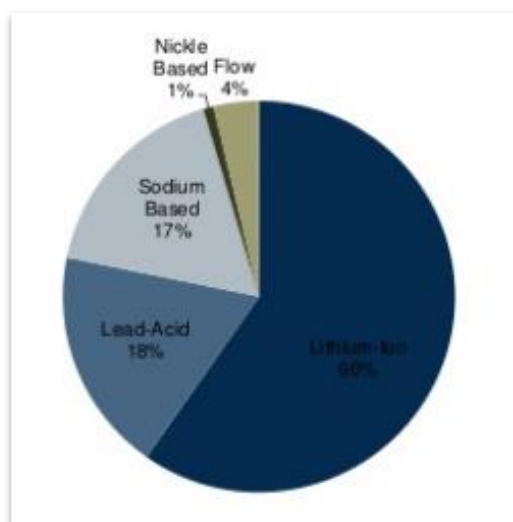
Pel que fa al final del cicle de vida dels panells fotovoltaics sí que es preveu el seu reciclatge. Tot i que actualment no representen un gran volum de residus s'espera que augmenti degut a l'augment de la seva implantació. És per això, que els primers processos de reciclatge que es realitzen confirmen que l'energia necessària per a reciclar és inferior a la que es necessita per la fabricació d'un panel nou i se'n pot recuperar fins al 85% del material, segons la divulgació del País (8).

4. Estat de l'art de les bateries

La instal·lació de fotovoltaica presenta una alternativa a la generació d'energia de baixes emissions; tot i així, no és una font controlable de manera que no s'assegura que es cobreixin les càrregues energètiques. Per a solucionar-ho, es planteja la instal·lació d'emmagatzematge d'energia: s'acumula energia en situacions d'excedent i n'aporta en casos que la generació no està present o és insuficient. D'aquesta forma, s'aprofita més l'energia generada localment i contribueix en l'alleugeriment de càrrega de la xarxa gràcies a la flexibilitat que aporten.

L'emmagatzematge d'energia pot presentar-se de diferents formes en funció de la tecnologia. El més utilitzat és el bombeig d'aigua degut a la seva gran capacitat i la seva simplicitat. Ara bé, en cas d'utilitzar-se a nivell local, són necessàries altres tecnologies més manejables com són les bateries. D'aquesta manera s'aposta per un model de generació distribuïda que a llarg termini pot dur a una independència energètica a nivell local.

En el moment actual, les bateries (especialment les de grans capacitats) constitueixen un sector tecnològic que es troba en desenvolupament. Això implica un alt preu i per tant, poca implantació. Tot i així, la tecnologia més ben adaptada és la d'ió-liti gràcies a les seves propietats i ja presenta models totalment desenvolupats i comercials; el que fa que sigui el tipus majoritari de bateries al mercat.



Il·lustració 6. Distribució de tipus de bateries dins del mercat (a nivell d'utilitats). Font: (9)

El mercat de les bateries es pot dividir segons la seva funció: per a vehicles i per a aplicacions estacionàries. En el cas dels vehicles, existeixen productes totalment comercials que tot i no tenir un gran abast dins del sector de transports, ja han estat implantats. En canvi, en aplicacions estacionàries, la implementació en la vida quotidiana de les persones es troba molt més enrere: pocs productes són produïts en massa i la seva instal·lació encara depèn molt de prototips i singularitats de cada projecte, sense assolir l'estandardització d'un producte establert. Això és degut també que en els casos d'instal·lacions estacionàries (com podria ser

a nivell residencial, comercial o per empreses elèctriques) existeixen tecnologies de baix cost i més desenvolupades (per exemple, generadors electrògens) que es plantegen com a competència directa.

Altres aspectes que són contraris a la implantació de les bateries són les seves limitacions de vida útil i de capacitat: la vida útil depèn del nombre de cicles de càrrega i descàrrega de la bateria i per tant, si són molt seguits redueix la seva durada i el desgast de la bateria també en redueix la capacitat. A més, els models de degradació de bateries encara no es troben totalment consolidats, sinó que estan en període d'investigació i per tant, no es pot modelar amb exactitud el comportament de les bateries.

4.1. Tipus de bateries

Existeixen diversos tipus de bateries, diferenciades bàsicament per la seva composició. El comportament de cada tipus de bateries ve donat principalment pels seus elements actius que la formen: l'ànode i el càtode. Aquests marquen les característiques principals que defineixen el seu ús i potencial: la densitat energètica (Wh/g), la capacitat volumètrica (Ah/cm³), la capacitat nominal, la ciclabilitat i l'auto-descàrrega.

Alguns tipus encara es troben en processos de desenvolupament a nivell de laboratori com el cas de bateries metall-aire. Altres ja es troben disponibles en el mercat i amb aplicacions reals com són les de liti-ió, les de níquel, les de sulfur de sodi i les de plom-àcid.

Cadascun dels tipus esmentats presenta diferents característiques de funcionament degut al material que els conforma, com s'especifica en la Taula 1:

Tecnologia	Densitat d'energia [Wh/kg]	Ef. Recuperació[%]	Cost [€/kW]	Avantatges	Inconvenients
Níquel	20-120	60-91	200-750	Bona potència, densitat i eficiència	Tòxic, requereix reciclatge
Liti-ió	80-150	90-100	150-250	Bona potència, densitat i eficiència. Material abundant	Alt cost del reciclatge
Pb-àcid	24-45	60-95	50-150	Baix cost	Contaminant, baixa densitat
Sulfur de Na	150-240	>86	170	Bona densitat i eficiència	Alt cost de producció

Taula 1. Resum de característiques de tecnologies de bateries. Font: (10)

En el cas del níquel, existeixen diferents subtipus en funció del material que complementa el níquel. Els més desenvolupats són el Ni-Cd i el Ni-MH. El primer, va representar un important segment del mercat de les bateries al voltant dels 90, gràcies als baixos preus en comparació

amb altres tecnologies que presentava, ràpida recàrrega i llarg cicle de vida fins i tot amb descàrregues profundes. Tot i així, el cadmi és altament tòxic i molt contaminant. El segon tipus, és utilitzat en diferents aplicacions especialment per a petites dimensions i en comparació presenten millor potència i densitat energètica a més de ser més respectuós amb el medi ambient.

Les bateries de liti-ió, presenten diverses avantatges així com la lleugeresa, la seguretat i l'abundància del material del càtode. A més a més, l'impacte ambiental és reduït des que els seus òxids i sals poden ser reciclats.

Les bateries de plom-àcid han estat les més desenvolupades al llarg del temps i presenten característiques avantatjoses com el baix cost i la simplicitat però el fet de presentar plom és un gran inconvenient degut a l'alt grau de contaminació que comporta segons l'anàlisi del document (11).

Pel que fa les bateries de sulfur de sodi, són les bateries d'alta temperatura més desenvolupades, tot i ser relativament noves en aplicacions de sistemes de potència. Per altra banda, existeixen certes complicacions estructurals, ja que aquestes bateries requereixen mantenir les sals de sodi foses (alt aïllament tèrmic) i el sodi s'ha de mantenir fora del contacte amb l'atmosfera ja que és explosiu (alta estanqueïtat).

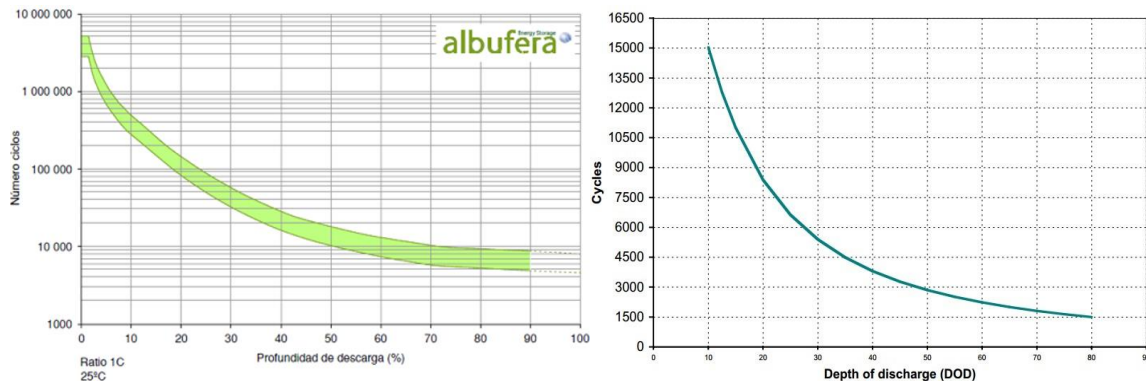
4.2. Funcionament de les bateries liti-ió

Per aquest treball, se selecciona les bateries de tipus liti-ió ja que presenten la millor solució en quant a la seva eficiència per càrrega/descàrrega, lleugeresa i baix desgast de capacitat.

Per a la selecció de bateries existeixen dos factors que determinen la seva funcionalitat: la capacitat i la potència de càrrega/descàrrega. En aquest treball, aquests dos paràmetres són la base per seleccionar-ne el model que siguin els més adequats per a cada situació estudiada.

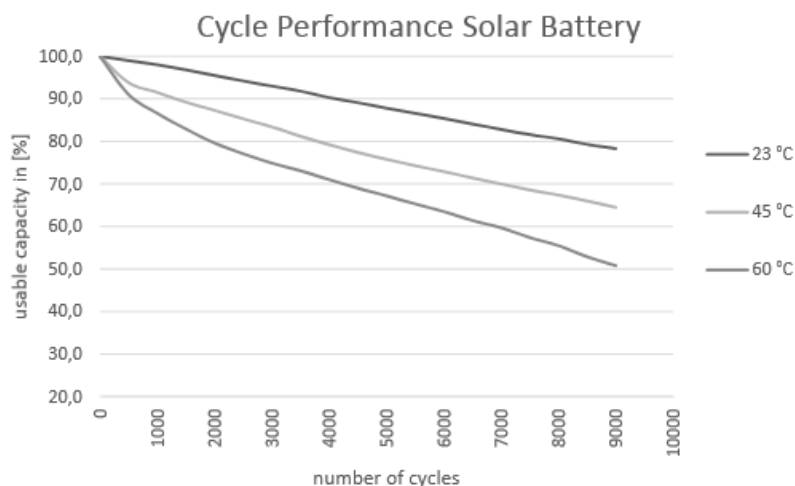
Ara bé, s'ha de considerar altres aspectes limitants. Un dels quals és el SOC, (State of Charge) que presenten les bateries: normalment aquestes treballen entre el 20% i el 80% de la seva capacitat, de manera que la profunditat de descàrrega (Depth of Discharge, DoD) per no deteriorar les bateries se limita a un 80% de la capacitat.

Una altra qualitat de les bateries de liti-ió és la seva resistència als efectes de les profunditats de descàrrega. Altres tipus de bateries, si la descàrrega és ràpida i representa una gran part de la seva capacitat es veuen afectades a la llarga, de manera que se'n redueix la capacitat i la seva vida útil. Tot i suportar grans descàrregues instantànies puntualment, les bateries estan dissenyades per a tenir un funcionament amb descàrregues de llargues durades i menys intensitat fet que afecta també en el número de cicles durant la vida útil. Com es pot veure en la Il·lustració 7 de la dreta, a mesura que la tendència dels cicles presenta més DoD, la vida útil disminueix.



Il·lustració 7. Comparació de gràfics de la disminució del número de cicles en funció del DoD de Liti-ió (esquerra) vs Plom-àcid (dreta) Font: Albufera Energy Storage i document (22)

Una altra de les condicions que afecta més al bon funcionament de la bateria és la temperatura: a més temperatura ambient, més se nota la pèrdua de capacitat de la bateria, com es pot veure en la Il·lustració 8. La capacitat nominal de la bateria s'especifica a una temperatura entre 25 i 27°C. Les bateries de liti treballen especialment bé en casos de baixes temperatures (el rendiment de les bateries d'altres tipus cau dràsticament a mesura que baixa la temperatura), tot i que amb descàrregues reduïdes. En els casos estudiats, però es considera que la bateria no patirà condicions extremes de temperatura ja que se situaria a l'interior dels edificis per tal de moderar-ne l'efecte.

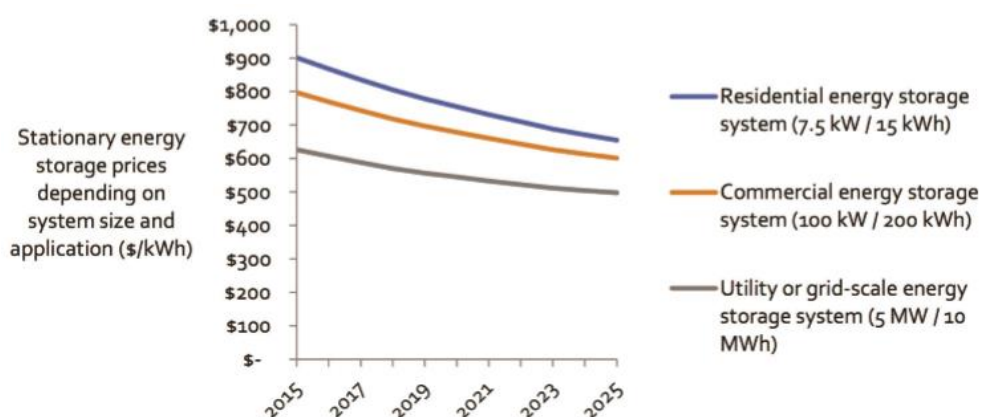


Il·lustració 8. Vida útil de la bateria segons la temperatura (font: Catàleg de productes de bateries Fronius)

Un altra característica que defineix les bateries és l'End Of Life (EOL): representa la reducció de capacitat que pot suportar una bateria per què encara sigui considerada funcional, normalment aquest valor és del 20% (que presenti una capacitat del 80% de la inicial). En casos de vehicles híbrids/elèctrics és considerat un factor clau, degut a la dependència que presenta entre la capacitat i l'autonomia del vehicle.

4.2.1. Mercat de les bateries de liti ió

Tot i les previsions de baixada de preus, la realitat encara es presenta difícil per l'aplicació generalitzada en els diferents sectors, tant en el transport com aplicacions estacionàries. En el cas dels vehicles elèctrics/híbrids, l'escassa informació dels fabricants de bateries es calcula que el cost de producció es troba entre 380-715 €/kWh, un preu distant del que es calcula necessari per què siguin viables totalment, que és de 200 €/kWh. Per a les bateries estacionàries encara presenten preus superiors: actualment, la diferència de magnitud entre les aplicacions estacionàries representa una gran variació en els costos de fabricació. La tendència però és reduir-ne aquesta diferència de manera que les aplicacions residencials seran les més beneficiades per la davallada de preus, com a conseqüència de la reducció de costos fixos d'instal·lació.



Il·lustració 9. Evolució prevista dels preus \$/kWh per aplicacions estacionàries desglossades segons la seva magnitud Font: (24)

5. Estat de l'art de l'electrònica de potència associada a la generació fotovoltaica

En aquest apartat s'analitza les opcions de l'electrònica de potència en aquestes instal·lacions. Són uns components imprescindibles per al funcionament ja que l'energia generada necessita un condicionament tant per al seu consum com per al seu emmagatzematge.

En el cas de l'emmagatzematge, és necessari proporcionar un voltatge constant per evitar la descàrrega i alhora s'ha de presentar un control per evitar sobretensions en la bateria així com en la instal·lació del consumidor. Per altra banda, l'electricitat produïda per les plaques fotovoltaïques és en contínua i de baix voltatge en comparació al consum habitual (de la xarxa).

5.1. Regulador de càrrega

El regulador és un element situat entre els panells fotovoltaics i les bateries i que assegura les condicions de funcionament correctes per al corrent generat i així no s'arribi a sobrecarregar la bateria. Per això, fa un seguiment del voltatge de la bateria i l'estat de càrrega per regular-ne el flux de corrent de càrrega.

Existeixen 2 tipus de reguladors segons la seva forma de funcionament, els PWM (pulse width modulation) i els MPPT. Els primers, presenten el mateix voltatge a banda i banda del regulador (fotovoltaica i bateries) i segons la seva configuració poden estar en format paral·lel o sèrie.

- Reguladors en paral·lel (shunt), del tipus PWM. El seu funcionament es basa en la desviació de corrent procedent dels mòduls cap a una càrrega resistiva de dissipació en cas de càrrega de la bateria. Aquest sistema produeix unes pèrdues i desgast per escalfament del regulador de manera que el corrent de treball es troba limitat a baixes intensitats i les aplicacions d'aquests reguladors a instal·lacions petites.
- Reguladors en sèrie, del tipus PWM. Aquesta classe de reguladors basen el seu funcionament en la interrupció del corrent cap a la bateria, en funció del seu voltatge. Actualment amb les tecnologies actuals, aquest interruptor és progressiu, de manera que es pot comandar per a poder tenir diferents nivells de càrrega. Aquest tipus de reguladors es connecten en sèrie entre els panells i la bateria i, com que no dissipen calor, poden ser més aviat petits i poden anar muntats en llocs tancats si fos necessari. Altres models de reguladors d'aquest mateix tipus, usats en grans instal·lacions, desvien el corrent dels panells a altres circuits quan les bateries estan carregades per a fer servir aquesta energia per a altres usos. També poden anar desconnectant de

manera automàtica els panells o bé grups de panells a mesura que la tensió de la bateria creix, per deixar passar tan sols el corrent necessari i mai en excés.

- Reguladors amb seguiment de màxima potència, de tipus MPPT: Aquesta és la versió més sofisticada dels reguladors que hi ha al mercat, ja que incorpora un convertidor DC/AC a la sortida dels mòduls solars, cosa que permet aïllar el voltatge de treball dels mòduls del voltatge de les bateries. D'aquesta manera, els mòduls poden treballar en el seu punt de màxima potència i, per tant, al màxim rendiment possible

5.2. Inversor

5.2.1. Funcionament d'un inversor

Un inversor té com a tasca principal la transformació de CC en CA, imprescindible per a instal·lacions connectades a la xarxa. A més a més, realitza altres funcions importants pel sistema fotovoltaic.

En primer lloc, ha d'assegurar una conversió CC-CA amb poques pèrdues per tal d'assegurar que la major part de l'energia produïda pels mòduls sigui aprofitada. Actualment, els inversors se situen al voltant del 98% d'eficiència.

En segon lloc, el monitor de l'inversor és el receptor de totes les senyals que dona la planta fotovoltaica. D'aquesta manera, en cas d'haver-hi fallades es desconnecta immediatament de la xarxa per seguretat. Alhora funciona com interfície de comunicació entre les dades operacionals i els paràmetres ajustables de funcionament que pugui tenir una placa fotovoltaica.

En tercer lloc, s'encarrega de l'optimització de la potència del mòdul en funció de les condicions de treball (irradiància, temperatura i intensitat) de tal manera que s'obtingui la màxima potència en tot moment, tot seguint el "Maximum Power Point".

A més a més, té funcions autoreguladores per al seu propi funcionament: p.ex. en casos de temperatures excessives, l'inversor disminueix la potència i així reduir l'escalfament tot i no poder llavors treballar al punt òptim.

La seva elecció es basa en les característiques tècniques que el defineixen, les més importants són: el voltatge d'entrada, el voltatge de sortida i la capacitat de sobrecàrrega (12).

5.2.2. Tipus d'inversors

Existeixen diferents tipus d'inversors en funció del control que presentin:

- Els inversors en cadena són els més utilitzats en edificis residencials, per a petites i mitjanes aplicacions. A la seva entrada només es connecta un string (línia de plaques

FV), de tal manera que el seguidor del punt de màxima potència (MPPT) és independent per a cada string. Permeten el disseny de generadors FV amb strings de manera que no tinguin la mateixa orientació a causa de complicacions d'ombrejat o en la distribució i així optimitzar-ne el rendiment localment. En contrapartida, el seu preu és més elevat (en relació €/kW).

- Els inversors centrals són utilitzats per a sistemes de gran escala, com ara centrals fotovoltaïques connectades a la xarxa. A l'estar centralitzat tota la producció depèn d'aquest, costa més definir el MPPT degut a les diferents pèrdues per l'ombra, diferències d'orientació de cada panell i així que treballi de forma òptima
- Els micro-inversors donen llibertat absoluta, ja que són individuals per cada mòdul, cada panell tindrà el seu propi MPPT. Pot estar integrat en el propi marc del panell (donant lloc als panells AC). No obstant això, té desavantatges notables com són la seva baixa eficàcia i elevat cost. Al que podem sumar que la vida d'aquests inversors sol ser inferior a la dels panells als que van adherits, el que causa que la vida intrínseca del conjunt panell-inversor es redueixi.

Com s'ha comentat en l'apartat dels reguladors, també existeixen reguladors a nivell modular amb MPPT que paral·lelament requereix un inversor.

Actualment, els nous models porten dispositius integrats amb inversors i reguladors en cas de sistemes amb emmagatzematge.

	POTÈNCIA	EFICIÈNCIA	QUOTA MERCAT	PREU c€/Wp	OBSERVACIONS
STRING (CADENA)	< 100 kWp	<98%	~41%	~11	Fàcil de reemplaçar
CENTRALITZAT	> 100 kWp	<98.5%	~57.5%	~8	Alta fiabilitat
MICRO-INVERSORS	Rang de pot. modular	90-95%	~1.5%	~35	Difícil de reemplaçar
CONVERTIDOR DC/DC (Optimizador Potencia)	Rang de pot. modular	<98.8%	n.d.	~40	Difícil de reemplaçar és necessari conv. DC/AC 1 GWp en 2014

Taula 2. Resum de característiques segons el tipus d'inversors. Font: (4)

6. Legislació actual en qüestió d'autoconsum a l'Estat espanyol

El passat curs la legislació espanyola va aplicar un nou Real Decret (RD) en qüestió de generació de renovables propietat de petits consumidors. Aquest fet, va aixecar certs recels especialment entre col·lectius ecologistes i va ser batejat com el real decret “de l'impost al sol” per la dubtosa justificació dels nous impostos que comporta com recull la notícia de Huffington Post (13).

Actualment, la legislació espanyola defineix 2 tipus d'usuaris que s'acullen a l'autoconsum:

- a) Modalitat d'autoconsum tipus 1, es defineix pel fet d'haver-hi un únic consumidor/punt de subministrament per una o més instal·lacions de generació elèctrica i aquestes s'utilitzin exclusivament per autoconsum. En aquesta modalitat, la instal·lació està connectada a la xarxa elèctrica però en cas d'abocament d'energia no es retribueix.
- b) Modalitat d'autoconsum tipus 2, quan es tracta d'un consumidor d'energia elèctrica associat a una o diverses instal·lacions de generació connectades a la seva xarxa elèctrica general, de forma que autoconsumeix la seva energia generada i en cas d'excedent, pot abocar-lo a la xarxa i vendre'l.

El RD 900/2015 (14), inclou (a part dels peatges d'instal·lació i connexió a la xarxa) els peatges d'ús de l'energia generada per les fotovoltaiques. D'aquesta manera, tant per la potència instal·lada per a la generació d'electricitat com per l'energia generada, s'ha de pagar un impost en concepte d'ús que fa el consumidor de la xarxa elèctrica general, que es determinen en funció de les Taula 3 i Taula 4.

Els casos que es paga l'impost estipulat en la Taula 4 són:

- quan existeixen bateries en la instal·lació que emmagatzemen energia per no ser consumida instantàniament i així, reduir la potència contractada
- quan el consum pic supera la potencia contractada

Altres apreciacions que fa el RD són els règims tècnics als quals va lligat la instal·lació d'autoconsum, com són els comptadors i la seva situació.

Peatge d'accés	Càrrec transitori per energia autoconsumida (€/kWh)					
	Període 1	Període 2	Període 3	Període 4	Període 5	Període 6
2.0 A ($P_c \leq 10$ kW)	0,049033					
2.0 DHA ($P_c \leq 10$ kW)	0,063141	0,008907				
2.0 DHS ($P_c \leq 10$ kW)	0,063913	0,009405	0,008767			
2.1 A ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,060728					
2.1 DHA ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,074079	0,018282				
2.1 DHS ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,074851	0,021301	0,014025			

Taula 3. Càrrecs per l'energia consumida en funció de la potència segons el RD 900/2015

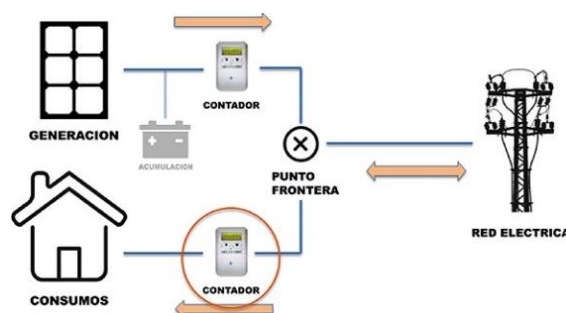
NT	Peatge d'accés	Càrrec fix (€/kW)					
		Període 1	Període 2	Període 3	Període 4	Període 5	Període 6
BT	2.0 A ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.0 DHA ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.0 DHS ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.1 A ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	2.1 DHA ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	2.1 DHS ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	3.0 A ($P_c > 15$ kW)	32,174358	6,403250	14,266872			

Taula 4. . Càrrecs per la potència de generació instal·lada a en funció de la potència contractada segons el RD 900/2015

D'aquesta manera, la potència que s'utilitza per calcular el càrrec de per la potència instal·lada és el següent:

$$\text{Càrrecs fixos} = \text{Potència d'aplicació de càrrecs} \\ - \max(\text{Potència contractada}, \text{Potència de xarxa})$$

Considerant que la instal·lació elèctrica incorpora un comptador a l'entrada del circuit de consum (com es veu en la Il·lustració 10), es calcula la tarifa a partir de la potència màxima mesurada (que representa la potència d'aplicació de càrrecs) per aquest comptador descomptant la potència contractada (o en el cas que hi hagi un consum amb excés de potència de la xarxa s'utilitza aquest valor) com especifica la web (15) . En els casos estudiats, la potència consumida (i mesurada pel comptador) és la suma de l'obtingut de la xarxa, de la generació i de la descàrrega de l'emmagatzematge per tal de cobrir la demanda. que es calcula mes a mes i per a cada període de les tarifes, com s'explica en l'apartat 7.2.1.



Il·lustració 10. Situació dels comptadors per al control del consum

Aquest càrrec per tant, és una mesura per contrarestar l'estalvi que comportaria la disminució de la potència contractada que podria oferir el sistema d'emmagatzematge, ja que gràcies a la flexibilitat de l'emmagatzematge energètic, es pot disminuir el valor dels pics de forma que es puguin contractar potències menors. D'aquesta manera, el benefici que s'extrau per la disminució de la potència contractada es veu disminuït per l'aparició d'aquest nou càrrec.

Altres detalls a comentar d'aquest últim RD és que les instal·lacions aïllades de la xarxa com els grups de generació d'emergència en queden exemptes.

A més a més la legislació prohibeix que la instal·lació pugui subministrar energia a més d'un consumidor, per tant, queda limitat el consum a un número de CUP que s'acostuma a designar per habitatge (pis o casa) o empresa a partir del qual es cobra la factura elèctrica.

Per al tipus 2, l'energia excedent es retribueix al preu horari del mercat elèctric descomptant el peatge de generació que se situa a 0,5€/MWh aproximadament.

6.1. Càlcul dels costos associats al consum de xarxa, la generació i l'emmagatzematge

Tenint en compte la legislació explicada en l'apartat anterior, resulten 5 conceptes a tenir en compte a l'hora de fer el balanç pel que fa l'estalvi en la factura elèctrica.

Inicialment, s'ha de tenir en compte els càrrecs per consum d'electricitat de la xarxa. Com s'ha plantejat al llarg del treball, la instal·lació de fotovoltaica no té com a objectiu assolir una instal·lació totalment independent, sinó per a servir de suport. Per aquesta banda, existeixen 2 càrrecs:

- Càrrec fix per potència contractada: és un valor constant per a l'usuari i s'estipula segons €/kW. En els petits consumidors no se pot sobrepassar, però en consumidors d'alt voltatge existeixen penalitzacions en cas d'excés. Si es presenten tarifes amb discriminació horària, aquest valor també varia segons el període.
- Càrrec variable per l'energia consumida: és un valor variable per a l'usuari en funció del seu consum provinent de la xarxa i s'estipula segons €/kWh. Si es presenten tarifes amb discriminació horària, el terme de €/kWh és diferent per a cada període.

Per altra banda, existeixen càrrecs degut a l'autoconsum, com s'ha especificat anteriorment que són el càrrec per potència instal·lada per a penalitzar la disminució de potència contractada (Taula 4) i el càrrec per energia auto-consumida (Taula 3), que també presenten diferents valors en funció de la tarifa i el període.

Finalment, en cas de pertànyer a les instal·lacions de tipus 2, existeix una retribució per l'abocament d'energia a la xarxa, on el preu €/kWh injectat té un valor similar al preu de pool.

6.2. Diferents legislacions en qüestió d'autoconsum en altres països

Existeixen diferents formes de tractar el consumidor en matèria d'autoconsum depenent de factors com ara la quantitat d'energia remunerada, el preu de l'energia que es remunera o el balanç entre energia generada i energia consumida, d'on se'n distingeixen diferents estratègies. A més a més, de la legislació en quant al funcionament del sistema de generació

també existeixen altres formes de proporcionar ajuts per la implementació de renovables com la reducció de taxes dels dispositius, subsidis o crèdits.

6.2.1. Abocament de l'excedent

No es rep cap retribució pels excedents de generació encara que siguin cedits a la xarxa elèctrica, d'aquesta manera la generació distribuïda està permesa però no és impulsada i la única millora que percep el productor/consumidor és la disminució de la factura elèctrica gràcies a l'autoconsum.

6.2.2. Venda d'energia generada

L'energia generada és remunerada, si bé a través d'una tarifa regulada (feed-in-tariff, FIT) o bé amb un preu de referència a un mercat. En el cas del preu marcat per tarifa de la legislació acostuma a marcar la inflació anual. Hi ha esquemes on s'aplica a tota l'energia generada (com era el cas del Regne Unit) o altres casos que sols s'aplica a l'excedent. Un exemple de país que presenta aquest model de retribució és França. La situació de França presenta un preu d'electricitat molt baix en front als preus de FIT, de tal manera que el productor d'energia fotovoltaica tendeix a vendre-la tota a la xarxa, sense autoconsum. El productor d'energia fotovoltaica ven la seva energia injectada a la xarxa per un valor FIT (€/kWh). Aquest contracte dura 20 anys. A més, el productor pot gaudir d'altres ajudes bonus del 5% sobre la tarifa si s'ha els mòduls han estat produïts a la UE i fins i tot un 10% si s'han construït a la UE. El valor de les tarifes depèn del tipus d'instal·lació: variant segons la integració de les plaques en l'edifici o l'ús d'aquest, a part de dependre també del rang de potència instal·lat.

6.2.3. Balanç net

Aquest sistema consisteix en l'agregació de l'energia generada i restar-la de la consumida durant un període de temps estipulat, tenint en compte diferents factors com el cost del servei que comporta el transport o la infraestructura. Si el balanç és positiu es pot remunerar l'excedent a un preu establert o crear un crèdit econòmic de valor de la diferència i per bescanviar-lo en concepte de consum d'electricitat per aquell valor. Un exemple d'aquest model es pot trobar a Itàlia, "Scambio Sul Posto", una combinació de balanç net amb la xarxa elèctrica i un sistema de valoració d'energia especial. El productor/consumidor d'energia fotovoltaica pot injectar a la xarxa els excedents de l'energia produïda (que no ha consumit instantàniament) i comprar energia quan li sigui necessari. Els dos valors són valorats econòmicament pel mecanisme Gestor de Serveis Energètics (GSE); si el valor econòmic de la injectada és superior al valor de la comprada, l'usuari disposarà d'un crèdit econòmic amb el valor de la diferència que podrà utilitzar per consumir energia elèctrica de la xarxa equivalent a aquell valor. Amb aquesta valoració, es persegueix compensar econòmicament els intercanvis amb la xarxa per a equilibrar les diferències entre injectada-consumida i alhora "auto-consumir" en un moment diferent al de la producció, gràcies al crèdit econòmic. La

compensació es rep mitjançant el “Conto Scambio” o compte d'intercanvi i no només valora l'energia intercanviada (quota d'energia) sinó també el cost de servei que comporta (quota de servei), tal i com s'especifica en el document (16).

6.2.4. Certificats Verds Negociables (Tradable Green Certificates)

Aquest sistema, relativament nou (des de principis dels 90), representa una quota obligatòria de forma que els consumidors, proveïdors o productors d'electricitat hagin de proporcionar una contribució mínima especificada en el consum total d'electricitat provinent de les energies renovables. Dins de la UE, aquest sistema es troba a Polònia i Romania. A Polònia la legislació obliga a les companyies elèctriques a comprar energia de fonts renovables, mitjançant la redempció amb certificats d'origen d'electricitat provinent de renovables. Si no, s'ha de pagar una penalització del 130% del cost de l'energia com a concepte de substitució. En el cas de Romania, existeix un sistema similar que obliga a les companyies que aprox. el 12% de l'energia venuda vingui de fonts renovables i a canvi aquesta és remunerada. En el cas del que no els presenti, la companyia elèctrica ha de pagar una penalització proporcional a les remuneracions que li faltin, com explica la comparativa del document (17).

7. Sistema d'anàlisi dels casos estudiats

Com s'ha comentat anteriorment, aquest treball planteja estudiar la viabilitat de la instal·lació de sistemes de generació i emmagatzematge per a diferents casos, tant de forma genèrica (amb corbes de consum tipus segons la instal·lació) com específica, considerant la seva localització i consums particulars.

Per al seu anàlisi s'ha treballat amb el programa matemàtic Matlab, diferenciant-ne 3 parts: generació de perfils consum i demanda, optimització de la gestió energètica de la instal·lació i càlcul de costos associats al consum i generació.

La primera part, serveix per a fer un anàlisi gràfic i la introducció de dades en la posterior optimització. En segon lloc, ponderant els costos i beneficis de diversos factors, es calcula una distribució de l'energia horàriament per al consum, venda d'energia i emmagatzematge. En tercer lloc, després d'un anàlisi dels càrrecs que es contemplen dins la legislació vigent, es calcula balanç econòmic mensual i anual dels resultats obtinguts de l'optimització.

7.1. Generació de perfils

El sistema proporciona el perfil de generació energètica a partir d'una distribució model obtinguda per un cas concret a Barcelona. A partir d'aquí, indicant només la quantitat d'energia que es generaria a l'any es dona una corba horària. També hi ha l'opció de carregar un perfil concret de generació a partir d'un arxiu .txt i dimensionar-lo proporcionalment a l'energia total generada. Les mateixes situacions es donen per a les corbes de consum: existeixen corbes genèriques incorporades en el mateix algoritme o es poden carregar a partir de .txt descarregats des dels comptadors intel·ligents.

En aquest apartat també es fa càlcul que assimila el consum instantani de l'energia fotovoltaica per part del consum base, de manera que l'algoritme treballa amb la prioritat de consumir l'energia la fotovoltaica per cobrir la demanda abans de cedir-la a la xarxa i/o a la bateria: la corba resultant de demanda, especificada com a "demanda neta", resulta de la corba de la demanda real menys la corba d'energia generada. Aquesta corba serà la inclosa en l'algoritme d'optimització.

7.2. Algoritme d'optimització de la gestió energètica

En aquest apartat es tracta de plantejar les bases necessàries per a construir el model matemàtic de programació lineal, fonamental per a l'optimització.

Com a qualsevol model de programació lineal hi ha una sèrie de paràmetres coneguts introduïts prèviament i depenen de l'escenari que s'estudiï. També existeixen variables tant

de decisió com auxiliars i una funció objectiu que es vol minimitzar, tot subjecte a un conjunt de restriccions que s'expliquen detalladament en els següents apartats.

Es tracta d'un model de programació lineal entera mixta, en la què les variables de decisió són l'energia obtinguda a la xarxa i l'abocada a la xarxa. La resta de variables que s'utilitzen són designades com auxiliars ja que no tenen coeficients de ponderació (variable d'energia de la bateria, variables binàries o variables de SOC) però són necessàries perquè es puguin definir les restriccions i relacions entre elles i les variables de decisió.

L'optimització s'ha dut a terme amb l'objectiu que es reduís el costos per al client. Això es realitza a partir de les corbes de demanda, de les corbes de generació i altres característiques concretes com: l'existència o no de les bateries (on s'incloïen algunes de les seves característiques principals) i la potència contractada.

L'optimització es realitza de forma mensual (730 h) iterada per als 12 mesos.

Es tracta de calcular a partir de l'energia generada i la demanda horària, la distribució d'energia per a cobrir la demanda, la bateria i l'abocament a la xarxa. Basant-se en aquest balanç energètic:

$$E_{compr_i} - E_{inj_i} - E_{bat_i} = E_{load_i} - E_{gen_i}$$

Equació 1. Balanç d'energia del sistema FV per a la cobertura de la demanda

On E_{compr_i} representa l'energia horària consumida de la xarxa elèctrica habitual i per tant, comprada; E_{inj_i} és l'energia horària que s'injecta a la xarxa que prové de la generació fotovoltaica; E_{bat_i} és l'energia que s'utilitza per carregar (signe positiu) o descarregar (signe negatiu) la bateria en cas d'excedent o pel consum respectivament; E_{load_i} representa la demanda d'energia a cobrir del consumidor; E_{gen_i} , l'energia generada per les plaques fotovoltaïques final (tenint en compte pèrdues per ombres, escalfament, conversió a alterna), apta per al consum, emmagatzematge i/o l'abocament a la xarxa i la i és l'índex que designa cada hora comprès entre 1 i 730.

L'emmagatzematge en la bateria s'optimitza de tal manera que serveixi per a moments posteriors que no hi hagi energia generada o aquesta no sigui suficient per a cobrir la demanda horària d'aquell moment.

Com s'ha comentat abans, l'optimització té una estratègia que prioritza l'autoconsum (l'energia generada cobreix la demanda horària suposant que l'assignació és directa i de cost 0), i en cas d'excedent dirimeix entre l'emmagatzematge o la venda en funció de les properes demandes horàries i els seus preus i l'estat de càrrega de la bateria

$$[MIN]f = \sum_{i=1}^{730} PVPC_i \cdot E_{compr_i} - \sum_{i=1}^{730} P_{pool} \cdot E_{inj_i}$$

Equació 2. Funció a optimitzar que contempla la compra/venda d'energia

L'abocament a la xarxa comporta un benefici de forma €/kWh a preu de pool considerant peatges existents.

El resultat de l'optimització dona el cost de l'energia mensual per al client format pel cost de l'energia de la xarxa (tant el cost de la compra com el benefici de la injectada) on caldrà sumar-hi els diferents càrrecs per potència i energia.

Per l'anàlisi de resultats s'utilitza diferents bateries per a cada situació (diferent capacitat d'emmagatzematge i de potència de càrrega/descàrrega) en comparació amb la situació de només generació sense bateria.

7.2.1. Casos d'estudi inclosos

Degut a les diferents situacions que s'han estudiat (ja no sols en el treball, sinó al llarg de les pràctiques) s'han implementat diferents tarifes per a calcular els costos per a cada cas d'instal·lació de generació i emmagatzematge.

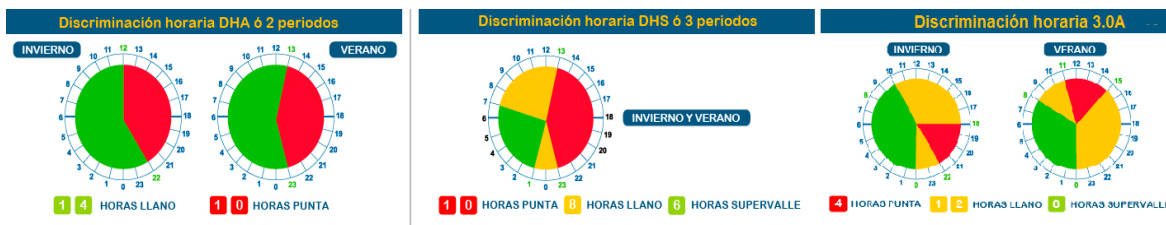
El programa pot carregar diferents tarifes en funció de les tarifes del client que s'estudia i del format de la instal·lació que es vol instal·lar, els casos que poden ser estudiats són:

Tipus de client (tarifa)	Format de la instal·lació	Tipus de bateria
Tarifa 2.0A	Amb fotovoltaica	Amb bateria
Tarifa 2.0 DHA i DHS		
Tarifa 2.1 DHA i DHS	Sense fotovoltaica	Sense bateria
Tarifa 3.0 A		
Tarifa 6.1A		

Taula 5. Diferents casos estudiats per a l'optimització

Per al cas 2.0A es contemplen clients amb potències contractades <10 kW sense discriminació horària. Per al casos de 2.0DHA i 2.1DHA es presenten tarifes amb potències contractades <10 kW i entre 10 i 15 kW, respectivament, amb discriminació horària en 2 períodes (vall i punta). Per al cas 2.0DHS i 2.1DHS es contemplen clients amb discriminació horària en 3 períodes (vall, plana i punta) i també les restriccions de potències anteriors. En aquests casos, la discriminació horària sols es dona pel càrrec d'energia, ja que la potència contractada només té un cost independentment del període per a cada tarifa. Per aquests

casos, acostumen a acollir-se habitatges o petits comerços. En el cas de 3.0A, s'hi acullen clients amb consums més alts amb potències contractades >15 kW amb discriminació horària en 3 períodes (punta, plana i vall) en energia i en potència. A més a més, hi ha un canvi en les hores diàries per a cada tarifa en funció de l'època de l'any, com es veu a la Il·lustració 11.



Il·lustració 11. Discriminació horària segons tarifes d'electricitat

En els casos d'alt voltatge, sols s'estudia la tarifa de 6.1A. Aquesta tarifa presenta 6 períodes, que presenta diferents horaris i mesos.

7.2.2. Condicions de contorn

Com s'ha comentat anteriorment, la compra i venda d'energia horària estan definides per diferents variables però tot i així, per l'estructura i el plantejament de l'algoritme no es poden donar de forma simultània. Per a diferenciar els instants (hores) de compra i de venda d'energia de la xarxa s'ha designat un seguit de variables binàries per tal de no donar-se simultàniament les dues situacions. Amb les següents equacions:

$$0 \leq B_i \leq 1$$

$$0 \leq E_{compr_i} \leq E_i \cdot B_i$$

$$0 \leq E_{inj_i} \leq P_{contra} \cdot 1h \cdot (1 - B_i)$$

Equació 3. Límits de l'algoritme per a l'energia comprada i l'energia injectada

On B_i és la variable binària entera, de manera que quan aquesta pren el valor 1, l'energia comprada pot presentar valors de 0 o superior (al contrari de l'energia injectada, que es troba limitada a 0 i a l'inrevés en cas que B_i prengui valor 0). Per altra banda, també es bloqueja la situació en què la bateria es carregui a través de la xarxa, de manera que l'energia comprada a la xarxa tindrà un valor inferior a l'energia demandada (E_i) i a la vegada, l'entrada i sortida d'energia horària de la bateria (E_{bat}) es veu limitada a la potència màxima de càrrega/descàrrega sostinguda durant una hora.

$$-E_{batmàx} \leq E_{bat_i} \leq E_{batmàx} \cdot (1 - B_i)$$

Equació 4. Limitació de l'energia de càrrega i descàrrega de la bateria

La càrrega i descàrrega de la bateria es controla a través del SOC, limitat entre 0 i 100%. En el casos d'estudi, la dada inclosa en l'algoritme és el 80% de la capacitat nominal tenint en compte que no tota està disponible per al seu funcionament.

$$S_i = S_{i-1} + \frac{E_{bat_i}}{EM_{bat}}$$

$$0 \leq SOC_i \leq 1$$

Equació 5. Definició de l'estat de càrrega en l'algoritme

7.2.3. Característiques de l'algoritme

El programa estudiat es basa en el càlcul amb la previsió de totes les dades per al període estudiat pel que no serveix per estudiar a temps real, de manera que la solució que obté és global (i no local com es dona en els casos de mètodes de càlcul instantani). És per això, els resultats i conclusions que se n'extreguin s'extrapolen i són sols una orientació en quant a la instal·lació que es plantegi, ja que difícilment tornaran a coincidir les mateixes dades exactament de consum, de generació, etc... per a què es doni el resultat concret.

Un altre dels condicionants que presenta el sistema d'optimització és la unitat de temps: en aquest cas, la unitat de temps amb la qual es treballa són hores. D'aquesta manera, els càlculs treballen amb variables amb valors d'energia, kWh.

Això pot suposar certs problemes en els casos que es tracti de potències (especialment en casos de potències pic), ja que els valors que s'establiran seran aquella potència (kW) durant una hora (kWh), de manera que es treballa amb el valor acumulat, i el valor de la potència instantània pot ser superior o inferior al que se suposa.

Pel que fa el càlcul del cost de l'energia mensual, el càrrec degut a l'autoconsum no està inclòs en l'optimització en si, sinó que és calculat a posteriori, per tant no es pondera.

7.2.4. Resultat de l'optimització

A partir de l'optimització del balanç energètic de la instal·lació, s'obté la distribució energètica horàriament al llarg de l'any, reflectit en les matrius de $E_{injectada}$, $E_{comprada}$, $E_{bateria}$ (de càrrega i descàrrega), $E_{demanda}$ i $E_{generada}$,

Altres dades associades a l'escenari estudiat que són necessàries per a l'estudi posterior i s'obtenen a partir dels resultats esmentats són el número de cicles, l'estat de càrrega de la bateria o el màxim de l'energia comprada a la xarxa.

Cal ressaltar que aquesta distribució d'energia horària en si no és el que busca per a l'estudi de la viabilitat del projecte sinó que és una manera d'aproximar les capacitats necessàries d'emmagatzematge i de generació d'acord als costos que impliquen les instal·lacions.

7.3. Resultat de costos i beneficis de l'optimització

A partir de la distribució energètica de l'optimització anterior es calculen per parts els costos i beneficis que comporta la instal·lació plantejada, com ara els beneficis aportats per l'energia injectada a la xarxa, els càrrecs per autoconsum (tant d'energia com de potència) o els càrrecs per consum de la xarxa.

En el cas de la potència contractada que va lligada al càrrec fix del consum de xarxa se suposa que aquesta es disminueix fins al valor màxim de la potència horària (energia) comprada en la simulació de la instal·lació, per poder ponderar l'estalvi en aquest càrrec i l'augment de cost en el càrrec de la potència instal·lada. Aquest anàlisi no es realitza en els casos que el sistema s'estudiï amb un model de corbes adaptat i la potència contractada vingui estipulada per la situació real. Això és degut a que no es pot tenir un consum horari real i per tant, l'anàlisi de la disminució de la potència contractada no es pot arribar a quantificar amb certesa.

7.4. Estudi de les condicions de generació

En els casos concrets que s'estudia la implantació del sistema fotovoltaic es fa un anàlisi de la possible distribució dels panells solars a l'edifici. Això implica un anàlisi acurat de l'espai disponible per la instal·lació de les plaques i les condicions que afectarien a la irradiació i per tant, la generació elèctrica. Per a fer-ho, s'utilitza el programari *PVSyst*, a partir del qual es calcula la generació horària tenint en compte: el clima de la localització, el sistema instal·lat (eficiència de les plaques i els inversors, la seva distribució), les pèrdues per escalfament, els límits tecnològics que presenten els panells i les pèrdues degudes a les ombres que produeixen objectes propers com ara edificis.

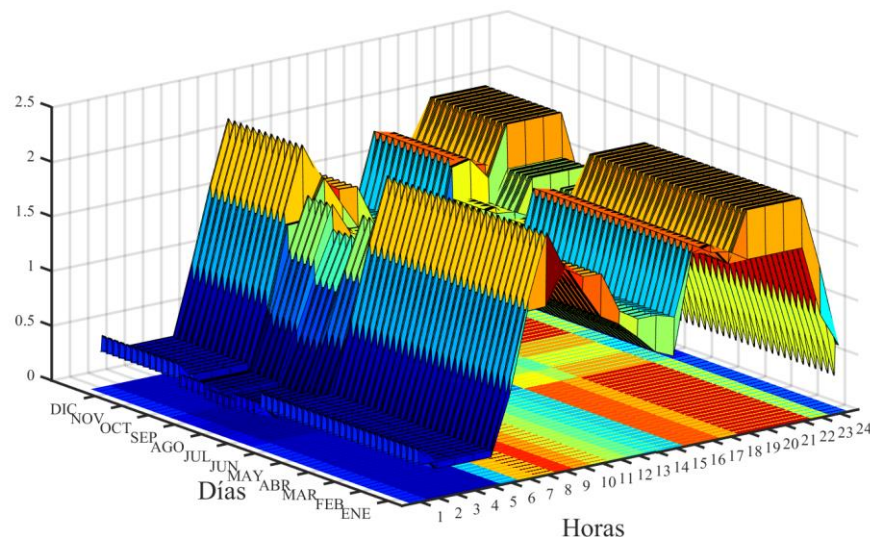
Aquest programa funciona a partir d'introduir un dibuix esquemàtic dels edificis propers i les plaques fotovoltaïques, i realitza una simulació d'irradiació solar per a cada hora de l'any, tenint en compte tot els factors esmentats. Per al càlcul final, també se selecciona un model de panell solar i inversor, de manera que el resultat calcula l'energia entregada final al sistema pel seu consum, emmagatzematge i/o venda.

8. Exemple 1: Edifici 9 plantes

En aquest apartat i els següents s'estudien 3 casos concrets d'aplicació en edificis en habitatge. Per fer-ho, el procés que se segueix és inicialment un estudi de la demanda i la possible generació instal·lada. Una vegada previst aquest sistema, s'analitza la viabilitat de la instal·lació de les bateries mitjançant l'eina del Matlab explicada en l'apartat anterior.

8.1. Estudi de la demanda

La instal·lació és dimensionada per cobrir part de la demanda elèctrica de les zones comunitàries de la finca: la il·luminació de l'escala i l'alimentació dels ascensors, que representa un consum de 10130 kWh/anuals.



Il·lustració 12. Mapa del consum horari de les zones comunitàries de l'edifici

Com que sols es comptava amb la suma de consums mensuals s'ha utilitzat una la distribució d'una corba model (el consum comunitari d'un edifici de dimensions similars) adaptada proporcionalment a l'energia total consumida. Com es pot observar, hi ha el mateix patró cada dia excepte en els mesos d'estiu que es presenta una certa disminució del consum de forma escalada.

L'estudi econòmic es realitza a partir de calcular els càrrecs que s'apliquen al tipus de tarifa 2.1A (sense discriminació horària) que és l'actual tarifa.

8.2. Simulació de la generació

La simulació de l'energia generada tenint en compte diferents condicions del sistema que es vol dissenyar es fa a partir del software *PVSyst*. Aquest programa dissenya la instal·lació referent als panells fotovoltaics i l'inversor. Les dades de les quals parteix són: la localització dels panells, la seva orientació i l'espai disponible per instal·lar-los.

En els 3 casos estudiats són edificis situats a Barcelona pel que s'utilitza les que la base de dades del programa extreu de l'observatori meteorològic que presenten aquestes condicions:

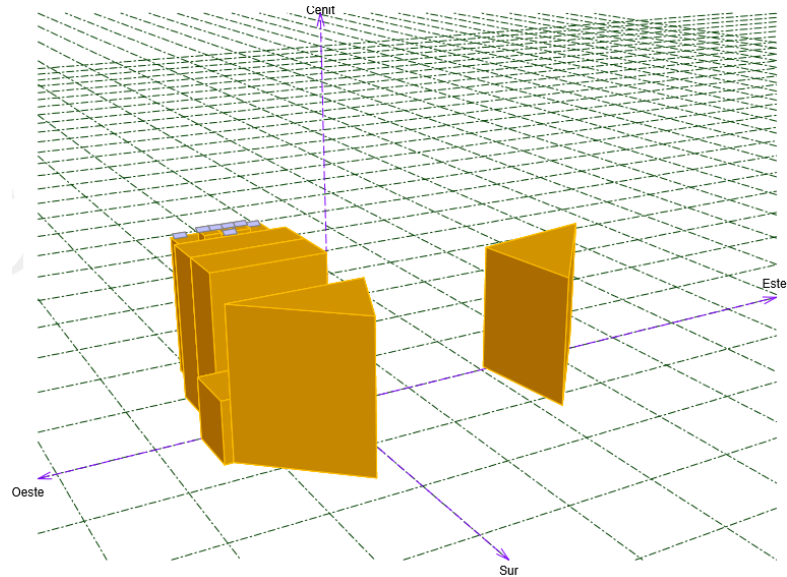
	Irrad. Global (kWh/m ²)	Difús (kWh/m ²)	Temperatura (°C)
Gener	63,9	25,9	8,6
Febrer	85,9	32,4	9,2
Març	130,9	52,1	12,1
Abril	164,8	62	14,2
Maig	191,8	75,3	17,9
Juny	197,3	79,6	22,4
Juliol	214,2	75,3	24,3
Agost	182,2	66,5	24,6
Setembre	136,8	56,5	20,9
Octubre	98,2	41,8	17,3
Novembre	64	27,5	11,8
Desembre	52,8	23,3	8,8
Total	1582,8	618,2	16

Taula 6. Dades meteorològiques de Barcelona per a la simulació

Analitzant la disposició del terrat on s'instal·len les plaques, es calcula que la situació òptima seria l'aprofitament dels espais elevats, de manera que els panells se situarien en 5 blocs (4 en fila i un altre més avançat) tal com s'observa en la Il·lustració 13.

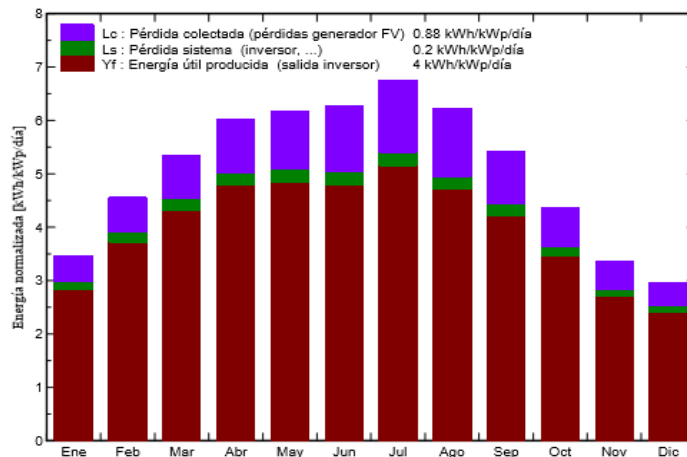
En aquest cas l'espai disponible es troba sobre la teulada de l'entrada al terrat (que queda elevat respecte la resta de la coberta) i l'extrem sud del bloc.

La situació que es planteja són un conjunt de panells instal·lats en línia i 3 més distribuïts a la resta del terrat, amb inclinació de 30° i azimut a 0° per aprofitar al màxim la irradiació solar. De diversos anàlisis se'n conclou que s'instal·la 4,2 kWp que generen 6125 kWh/any aproximadament tot considerant les ombres generades pels edificis veïns i la climatologia de Barcelona.



II·lustració 13. Simulació de les ombres i distribució dels panells FV al terrat

Es calcula que el factor de rendiment se situa al 78,6% variant en funció del mes, amb els pitjors registres situats a l'estiu. Les pèrdues del sistema es mantenen constants al llarg de l'any i les pèrdues d'energia col·lectada augmenten en proporció a l'energia rebuda.



II·lustració 14. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes en l'edifici de 9 plantes

8.3. Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada

Una vegada ja es té caracteritzada la generació es dimensiona en concordància la bateria. Per això, l'eina de distribució d'energia optimitzada és utilitzada dues vegades durant el procés de disseny d'instal·lació: una primera, per aproximar la dimensió de la bateria segons les característiques de situació. La distribució de generació i de demanda en marquen el funcionament i per tant, el seu ús, vida útil i rendibilitat. Per a saber quina capacitat de bateria és necessària es realitza la simulació amb diferents dimensions de bateria, amb els resultats següents tenint en compte el número de cicles equivalents, per conèixer el comportament de la bateria; l'energia comprada per valorar l'aprofitament de l'energia generada, i els diferents components (costos i beneficis) que comporta la compra, venda i autoconsum de l'energia:

Capacitat [kWh]	E compr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix Pcontr. [€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total [€]
sense bat	6427	-	667	1716	217	109	1793
2,5	5629	276	667	1616	264	73	1749
5	4977	192	667	1563	301	44	1713
7,5	4488	147	667	1541	330	22	1686
10	4180	112	667	1539	348	8	1669
sense PV	10134	-	667	1605	-	-	2272

Taula 7. Resum de resultats amb diferents capacitats de bateria

A part del benefici anual que representa la instal·lació de fotovoltaica i l'emmagatzematge, en el cas de la bateria concretament s'ha de tenir en compte dos factors que afecten significativament a la vida útil d'una bateria com és el número de cicles. En el cas de la bateria que se selecciona (la de 5 kWh), es realitzen aproximadament 280 cicles complets cada any (càrrega i descàrrega). D'aquesta forma, si es manté un comportament similar cada any, pot tenir una vida útil d'uns 20 anys (6000 cicles aproximadament).

Pel que fa a la profunditat de descàrrega, es considera que és un factor poc condicionant ja que es planteja seleccionar un model de bateria de liti-ió, el funcionament del qual no es veu afectat en cas de descàrregues de profunditat en l'ordre de magnitud que es treballa.

Finalment, a partir de l'oferta de mercat, es planifica instal·lar la bateria ió-liti de LG Chem ® 6,4 kWh, dels quals 5,1 kWh són útils (80% de la capacitat) amb una potència de descàrrega de 3,4 kW.

Una vegada realitzada l'optimització s'obté la distribució de l'energia durant tot l'any per cada hora. L'energia comprada a la xarxa, representa un 4953 kWh, de tal manera que l'autoconsum amb bateria n'ha aprofitat 5181 kWh (el 83% aproximadament de l'energia generada) a diferència dels 3700 kWh que s'aprofitarien en el cas de només fotovoltaica. La resta és venuda a la xarxa.

El càrrec fix de la potència instal·lada, resulta 0 ja que el consum és inferior a 15 kW(h) tenint en compte qualsevol dels dispositius de la bateria o la fotovoltaica. Pel que fa als càrrecs fixos per la potència contractada es mantenen (666,60 €), ja que no es té la seguretat de que els pics estiguin ben dimensionats al partir d'una corba model. Finalment, considerant com a cas base la situació sense FV ni bateries, anualment s'estalvia un cost 560€ anuals (de 2272 € a 1713 €), que considerant el 21% d'IVA de les tarifes elèctriques és un resultat final de 678 €.

Per tant, el balanç de costos anual resulta:

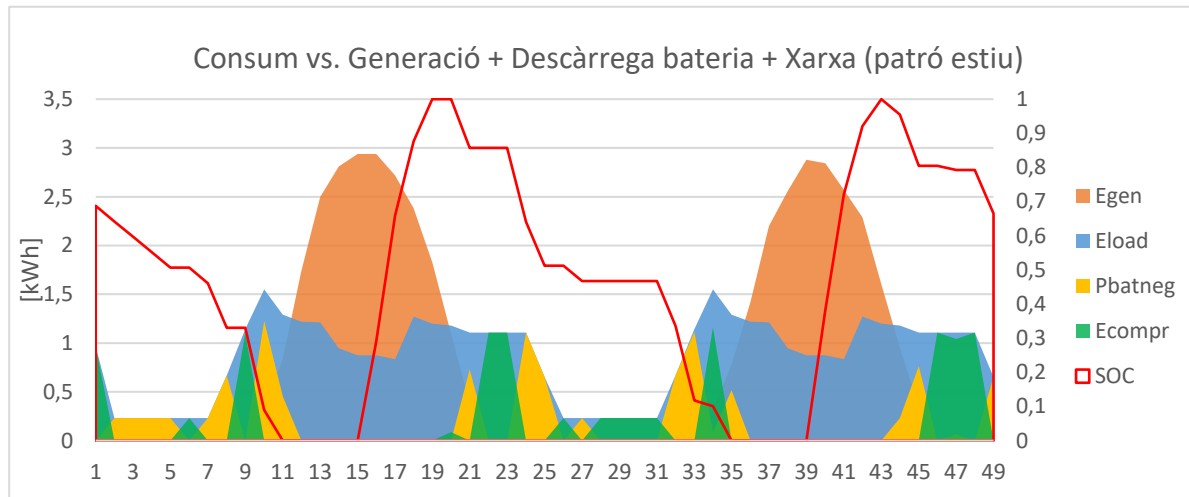
Cost variable de l'energia comprada	4953 kWh	+785 €
Cost variable de l'energia auto-consumida	5181 kWh	+ 303 €
Import de l'energia venuda a la xarxa	945 kWh	-43 €
Cost total amb PV + bat (sense càrrecs fixos Pcontr)		1045 €
Cost total sense PV		1605 €
Estalvi anual		560 €

Taula 8. Balanç de costos de la instal·lació d'autoconsum per a l'edifici de 9 plantes

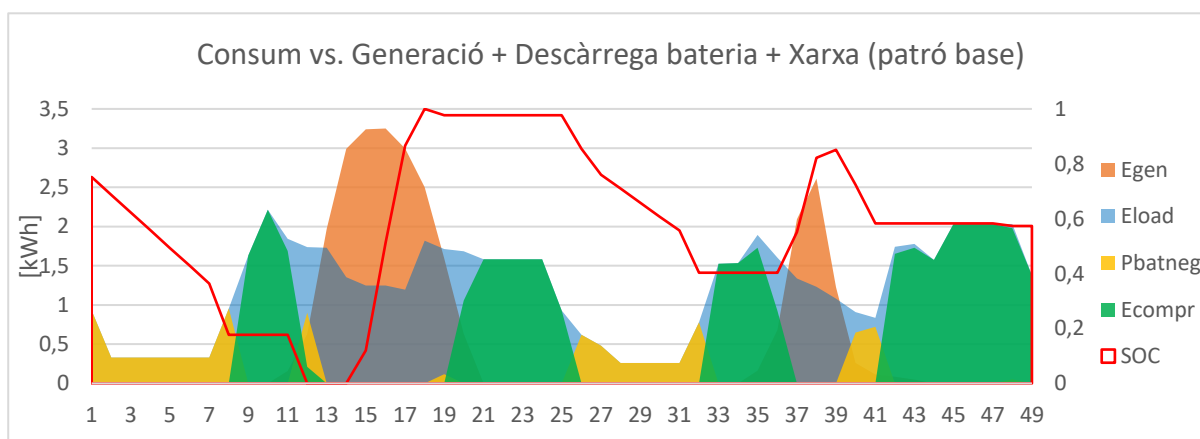
Si es fa un anàlisi acurat del balanç energètic es pot observar el bon aprofitament de la generació fotovoltaica: tant en el patró base com en el patró d'estiu s'observa que la fotovoltaica supera en escreix la demanda horària, que va lligat a una càrrega de la bateria durant aquest període i una reducció total de l'energia provinent de la xarxa (comprada). Aquest fet serveix perquè en les hores sense insolació la bateria cobreixi la demanda i l'energia provinent de la xarxa no sigui consumida (en l'època d'estiu l'energia provinent de la xarxa només apareix en moments puntuals, a favorit per la disminució de la demanda i el ple funcionament de la bateria). Cal esmentar, que en aquest cas concret pel fet de tenir una tarifa única (no hi ha discriminació horària), l'optimització permet que la bateria es descarregui en qualsevol instant del dia que sigui necessari ja que el benefici per €/kWh estalviat serà el mateix.

Com es pot observar, en ambdós patrons el comportament és similar tot i que al d'estiu al haver-hi més insolació el funcionament de la bateria i la disminució de l'energia comprada presenten un paper més important.

Per altra banda, també comentar que es realitza un cicle de càrrega i descàrrega cada 1 o 2 dies, com s'observa en els gràfics, i la seva durada depèn de la insolació rebuda: en els dies d'insolació alta es carrega i es descarrega en el mateix dia i en els dies d'insolació baixa la descàrrega s'allarga per als dos dies (ja que l'optimització té en compte tota la previsió de dades).



Il·lustració 16. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró d'estiu



Il·lustració 15. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró base

8.3.1. Pressupost i estudi econòmic

Per a realitzar aquest anàlisi se necessita saber les diferents entrades i sortides de capital en els primers 20 anys de vida (el que s'estima que pot durar la bateria, ja que sobrepasat aquest

límit el comportament del sistema no podria ser considerat el mateix o fins i tot podria comportar la substitució d'algun dispositiu).

Pel que fa la inversió inicial inclou els següents dispositius que es planifica instal·lar i altres despeses:

Concepte	Cost
14 panells JC300M-24/Ab	3600 €
bateria LG Chem ® 6,4 kWh	7200 €
Inversor/ cargador VICTRON Multiplus 24-5000-120	2300 €
Despeses d'instal·lació	1000 €
Total	14100 €

Taula 9. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici de 9 plantes

Per a conèixer la rendibilitat del projecte s'han seleccionat els indicadors: Valor Actual Net (VAN), Taxa Intern de Retorn (TIR) i Període de retorn de la inversió (Pay-back).

Els dels paràmetres importants que es contemplen són:

- Índex d'augment de preus de l'electricitat: Aporta informació de com s'incrementarà el preu de les tarifes electricitat i el preu de venda de venda dels excedents... S'estima que el valor actual és del 2% anual.
- Taxa d'interès: és el percentatge del guany percebut pel capital expressat en termes temporals, que determina el que es coneix com el preu del diner en el mercat financer, depèn de l'origen dels diners que s'inverteixen.
- VAN: mesura el valor actual de tots els ingressos i costos d'una inversió actualitzats a cada moment actual. Per a què una inversió sigui rentable, el VAN ha de sortir positiu
- TIR (Taxa interna de rentabilitat): és el tipus d'interès que fa que el valor actual net (VAN) de la inversió sigui 0 en un període de temps determinat.
- Pay-back: És el temps que ha de transcórrer en un projecte d'inversió per tal de recuperar el desemborsament inicial, tenint en compte tots els cobraments i pagaments.

Amb aquests dos paràmetres es defineixen diferents situacions: s'analitzen 2 escenaris: un escenari "optimista" on es considera que el preu de l'electricitat augmenta any rere any, i un altre en què el preu de l'electricitat es manté. Cada cas, presenta 3 sub-escenaris que varia l'origen dels diners per a la inversió:

- Amb estalvis personals, on la taxa d'interès és 0%,
- Amb un préstec bancari, on la taxa d'interès és 6%,

- Amb un 50% de subvenció i un préstec bancari (d'on es treu l'índex d'interès ponderat).

	Augment de tarifes	Manteniment de tarifes
Estalvis personals	0% interès / +2 % tarifes	0% interès / +0 % tarifes
Subvenció + préstec	3% interès / +2 % tarifes	6% interès / +0 % tarifes
Préstec bancari	6% interès / +2 % tarifes	3% interès / +0 % tarifes

Taula 10. Escenaris per a l'estudi de viabilitat econòmica

Fent un anàlisi dels resultats cada escenari s'arriba a les següents conclusions:

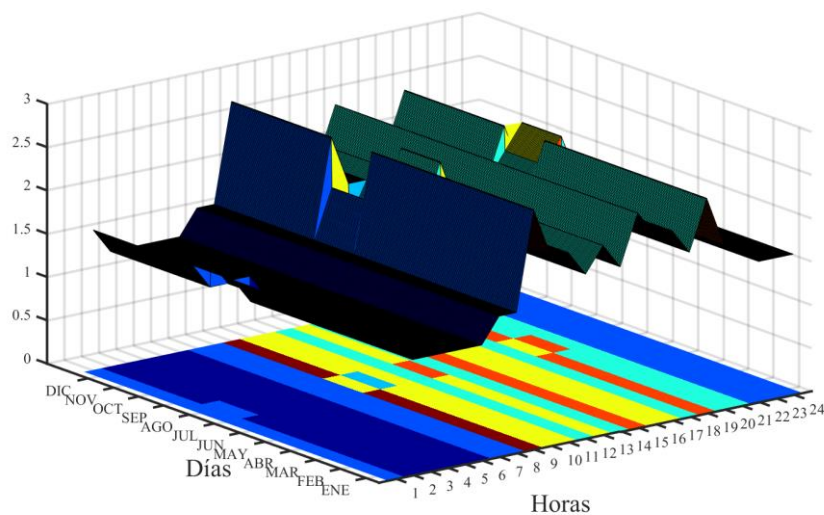
- La viabilitat econòmica és molt reduïda, ja que només surt rentable en el cas que hi hagi un augment de les tarifes i es realitzi amb estalvis personals (sense interès), amb un pay-back de 18,9 anys, com es pot veure en els annexos.
- En els altres casos, el pay back resulta més alt a 20 anys, ja que el TIR resulta ser del 1'18% en casos d'augment de tarifes per al període de 20 anys.

9. Exemple 3: Edifici 3 plantes

En aquest apartat com en els anteriors, es planifica la instal·lació d'un sistema de generació fotovoltaica connectat a la xarxa amb bateries en un edifici d'habitatges per cobrir un edifici situat a Barcelona, de 3 plantes.

9.1. Estudi de la demanda

La instal·lació és dimensionada per cobrir part de la demanda elèctrica de les zones comunitàries de la finca: la il·luminació de l'escala (tant la que funciona de forma puntual com la permanent), els elements de telecomunicació i l'alimentació dels ascensors. Com es pot observar, s'ha fet una estimació del consum diari a partir dels consums que hi ha diàriament, amb una disminució i variació del consum de cara a l'agost i finals de juliol, donat per l'ús de l'ascensor. La resta de consums (il·luminació i elements de telecomunicació) funcionen de forma automàtica i no varien al llarg de l'any.



Il·lustració 17. Mapa de consums horaris de l'edifici de 3 plantes

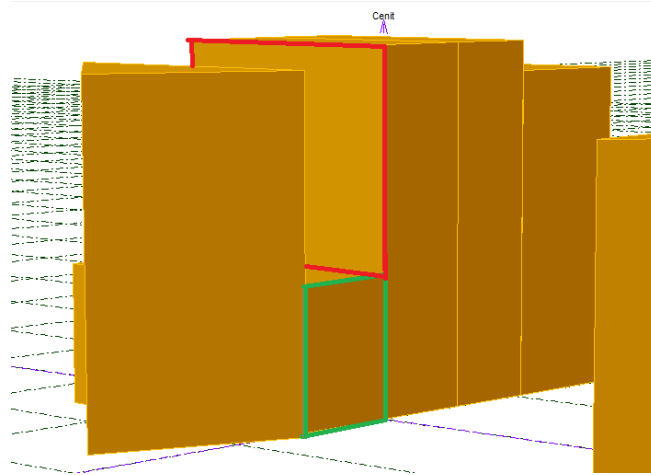
El consum diari se situa als 45 kWh i representa anualment 16250 kWh. La potència contractada ve donada pel consum simultani dels elements esmentats anteriorment i es quantifica en 6 kW.

En comparació amb el cas anterior, aquest edifici que és de mides reduïdes respecte al de 9 plantes suposa un consum major. Això és degut al consum que impliquen el sistema de telecomunicació RITI i RITS instal·lats a l'edifici.

9.2. Simulació de la generació

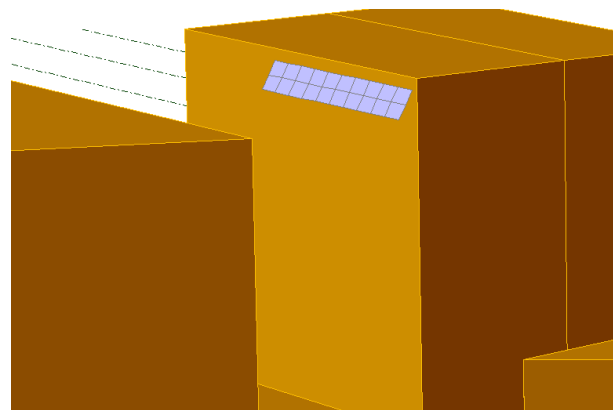
La simulació de l'energia generada tenint en compte diferents condicions del sistema que es vol dissenyar es fa a partir del software *PVSyst*. Les dades de les quals parteix són: la localització i situació en l'edifici.

En aquest cas es planteja instal·lar les plaques fotovoltaïques a la mitjanera, ja que l'edifici es troba entre dos blocs més alts que priven d'insolació el terrat tal i com s'observa en la Il·lustració 15. Tot i haver-hi un espai disponible molt gran, s'ha seleccionat la part més alta de la mitjanera ja que rep la màxima insolació i té menys ombres al llarg de l'any.



Il·lustració 18. Façana de l'edifici de 3 plantes i la paret mitjanera entre edificis

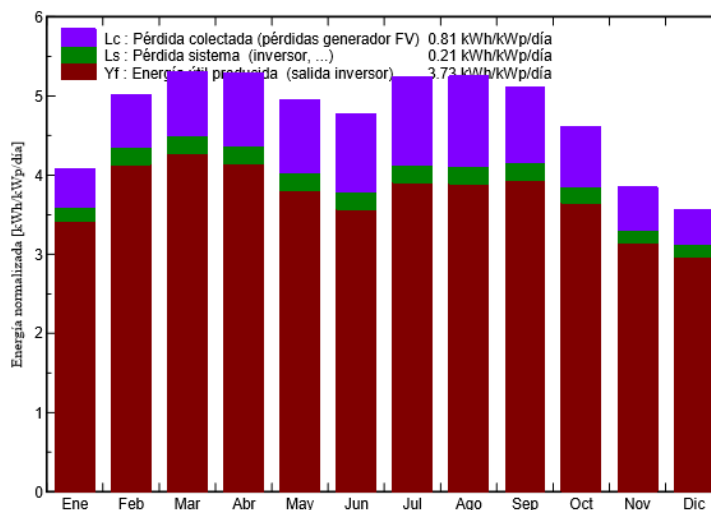
D'aquesta forma, se selecciona 20 panells de 0,24 kWp per ser instal·lats amb una potència nominal de 4'8 kWp. Per aquesta situació, s'ha dissenyat la instal·lació de les plaques amb una inclinació de 60°. Aquesta inclinació concreta maximitza la generació en període d'hivern fet que s'ha considerat necessari per contrarestar l'efecte important que comporten les ombres



Il·lustració 19. Situació de les plaques FV en la mitjanera

en aquest cas. De la simulació se'n conclou que es generen 6541 kWh anuals.

D'aquesta forma, s'assoleix un sistema de generació que funciona amb un factor de rendiment del 78,6% al llarg de l'any i tal com s'ha comentat, les pèrdues a l'hivern són proporcionalment inferiors degut a l'orientació que s'ha escollit per les plaques fotovoltaïques.



Il·lustració 20. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes

9.3. Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada

Una vegada obtinguda la corba de generació fotovoltaica per aquesta disposició s'inclou en l'algoritme i en el programa de càlculs i s'obtenen els següents resultats:

Capacitat [kWh]	E compr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix Pcontr. [€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total [€]
sense bat	10834	-	267	1716	317	50,57	2249
2,5	10203	276	267	1616	353	22,18	2214
5	9870	192	267	1563	373	7,23	2196
7,5	9732	147	267	1541	381	0,99	2188
10	9714	112	267	1539	382	0,19	2187
15	9714	74	267	1539	382	0,19	2188
sense PV	16252	-	267	2575	-	-	2841

Taula 11. Resultats de les simulacions provat amb diferents capacitats de bateria

Com es pot comprovar pel màxim aprofitament de la instal·lació és necessària una bateria més aviat petita, de capacitat real propera a 2,5 kWh, ja que el benefici €/kWh instal·lat disminueix fins a tendir a zero en els dos últims casos (10 i 15 kWh). Aquesta necessitat d'una

bateria de dimensions reduïdes és degut a que la generació és en part coberta pel consum base i l'excedent és reduït.

Per a la selecció de bateria s'ha de tenir en compte dos factors que afecten significativament a la vida útil d'una bateria: el número de cicles i la profunditat de descàrrega. D'aquesta manera, amb simulacions amb dimensions de bateries similars a la que se selecciona finalment, es realitzen aproximadament 280 cicles complets cada any (càrrega i descàrrega).

En aquest cas, es planifica instal·lar la bateria ió-liti de 3,3 kWh nominals de LG Chem ® d dels quals 2,5 kWh són útils (80% de la capacitat) amb una potència de descàrrega de 1,5kW.

De l'optimització s'obté la distribució de l'energia durant tot l'any per aquella hora. L'energia comprada a la xarxa, representa un 10203 kWh, que representen 630 kWh menys que en el cas de sols fotovoltaica (aproximadament, un aprofitament d'un 10% més de l'energia generada).

Per tant, el balanç de costos anual resulta:

Cost variable de l'energia comprada	10203 kWh	+1616 €
Cost variable de l'energia auto-consumida	6048,4 kWh	+ 353 €
Import de l'energia venuda a la xarxa	492,9 kWh	- 22 €
Cost total amb PV + bat (sense càrrecs fixos Pcontr)		1947 €
Cost total sense PV (sense càrrecs fixos Pcontr)		2575 €
Estalvi anual		628 €

Taula 12. Balanç de costos de la instal·lació d'autoconsum

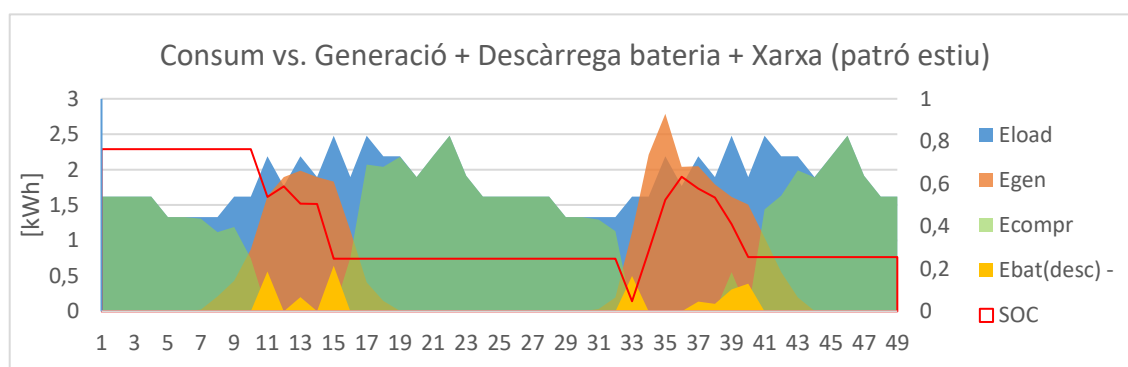
El càrrec fix de la potència instal·lada, resulta 0 ja que el consum (energia provinent de la fotovoltaica, la xarxa i descàrrega de la bateria) és inferior a 15 kW(h).

Els càrrecs fixos per la potència contractada es mantenen (267 €) ja que la potència contractada no es redueix. Segons l'estudi realitzat, el màxim d'energia consumida horàriament es manté i per tant, no es pot assegurar que els pics de potència hagin disminuït.

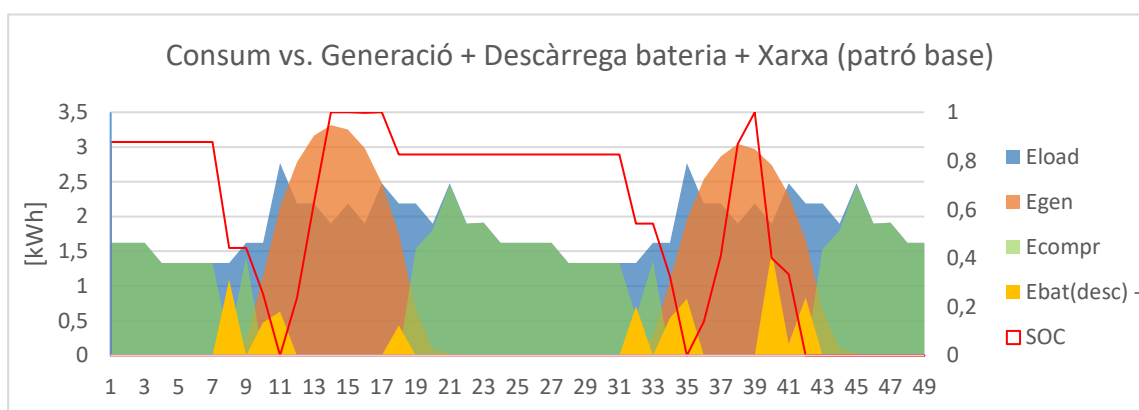
Considerant com a cas base la situació sense FV ni bateries, anualment s'estalvia un cost 628€ anuals, que considerant el 21% d'IVA és un resultat final de 760 €.

Fent un anàlisi acurat del comportament del sistema es pot comprovar els beneficis que aporta la fotovoltaica i l'emmagatzematge. Com es pot analitzar en les Il·lustració 21 i Il·lustració 22 (situació de dos dies amb el patró de consum habitual i en l'altra, dos dies amb el patró de consum reduït, a l'estiu), l'energia provinent de la xarxa disminueix dràsticament (fins a zero en la majoria de casos) quan existeix generació, ajudada puntualment per la bateria, que apareix en forma de pics (en les imatges es veu l'energia de descàrrega). Com s'esperava, la bateria es carrega quan hi ha generació, i es descarrega en hores entorn a l'inici i final de les hores d'insolació, de manera que es manté el SOC constant durant la resta d'hores (nit), de manera que es realitza aproximadament un cicle cada dia aproximadament (com s'observa a la Il·lustració 21 i Il·lustració 22 a partir del SOC).

En el patró de consum d'estiu, es pot observar que la generació es presenta de forma més erràtica i reduïda, de manera que la bateria no arriba sempre a la càrrega total (com es descriu en la imatge).



Il·lustració 21. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró d'estiu



Il·lustració 22. Distribució de l'energia horàriament en cas del patró base

9.3.1. Pressupost i estudi econòmic

Per a realitzar aquest anàlisi es calcular les diferents entrades i sortides de capital en els primers 20 anys de la instal·lació (el que s'estima que duraria la bateria).

Pel que fa la inversió inicial es planifica instal·lar els dispositius indicats en la Taula 13. S'ha de tenir en compte que la instal·lació en aquest cas és més costosa a causa de la situació de les plaques: no es troben en una superfície plana sinó que necessiten una estructura que les sostingui en la posició elevada encastada a la paret mitjanera.

Concepte	Cost
20 panells de 0,24 Wp	4500 €
LG Chem Lithium 3,3 kWh	2680 €
Inversor Carregador Huber 48 V 3200W	1010 €
Despeses d'instal·lació	3500 €
Total	11690 €

Taula 13. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici de 3 plantes

En aquesta ocasió el manteniment i revisió s'ha calculat que serà superior (50 €) al cas anteriorment estudiat degut a la complexitat de l'estructura que presenten les plaques fotovoltaïques.

L'estudi econòmic es realitza com en l'apartat anterior, amb els 6 subescenaris. Els resultats analitzats són:

- El TIR per al cas amb augment de tarifes elèctriques anuals resulta del 3,97%, del que resulta que en el cas de realitzar la inversió amb estalvis personals (interès del 0%) o amb la subvenció del 50% (interès del 3%) resulta viable econòmicament, amb un pay-back de 15,13 anys i 18,04 anys respectivament.
- En el cas de manteniment de tarifes, el TIR pren el valor de 1,94% del que s'extreu que sols resulta viable en el cas de realitzar-se amb estalvis personals que es recuperaria la inversió al llarg de 16,5 anys. En els altres casos, la inversió seria recuperada en un període superior a 20 anys

10. Exemple 1: Edifici 18 plantes

En aquest apartat es planifica la instal·lació de dos sistemes de generació fotovoltaica connectat a la xarxa amb bateries en dos edificis, un de 18 plantes i un de 3 plantes. Ambdós edificis pertanyen a la mateixa comunitat i es planteja instal·lar al terrat de cadascun la instal·lació fotovoltaica que abastiria l'altre. Això és degut als consums que presenten i la disponibilitat d'espai: l'edifici més baix presenta un consum menor però disposa de més espai a la coberta, pel que pot ser instal·lada una planta de generació FV més gran; en el cas de l'edifici de 18 plantes el consum és superior però l'espai és molt reduït.

10.1. Estudi de la demanda

Les dues instal·lacions són dimensionades per cobrir part de la demanda elèctrica de les zones comunitàries de les finques (il·luminació de l'escala, alimentació dels ascensors...). La situada a l'edifici de 18 plantes (edifici 1) i l'edifici del costat (edifici 2), de 3 plantes, que formen part de la mateixa comunitat de veïns que ascendeixen a 60636 kWh i a 6656 kWh anuals, respectivament.

A l'edifici 1, hi ha contractada la tarifa 3.0A amb potències contractades de 12 kW (en P1 i P2) i 37 kW (en P3). A l'edifici 2, hi ha contractada la tarifa 2.0A amb la potència contractada de 8 kW.

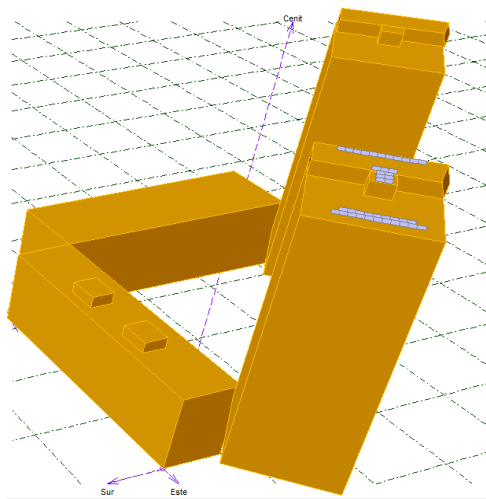
En aquests casos, els edificis no compten amb comptadors intel·ligents, de manera que no es tenen les dades de consum horari sinó que només es té la suma mensual de l'energia consumida per això s'ha utilitzat una la distribució d'una corba model (com en l'edifici de 9 plantes) que presenta el mateix patró cada dia excepte en els mesos d'estiu que es presenta una certa disminució de consum. Per fer l'anàlisi amb Matlab, s'utilitza la corba de distribució model dimensionada per a l'energia total mensual.

10.2. Simulació de la generació

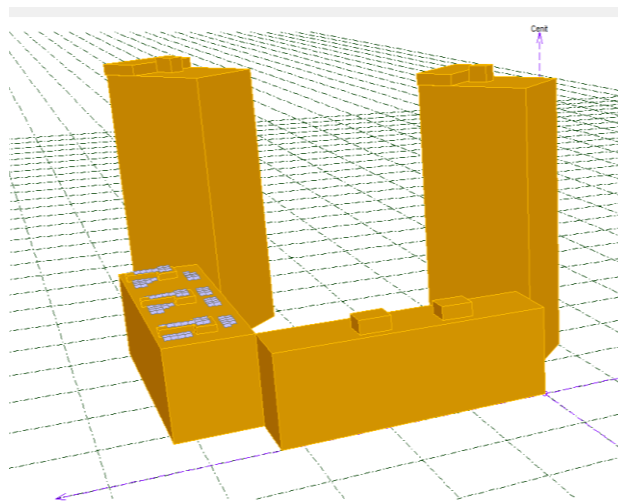
La simulació de l'energia generada es fa a partir del software *PVSyst* com en els altres casos estudiats prèviament.

Les instal·lacions de les plaques fotovoltaiques que es pretenen instal·lar estan localitzades als terrats d'ambdós edificis. Com es pot observar a la Il·lustració 25 i Il·lustració 24, l'edifici 1 és superior en dimensions i en consum però presenta menys espai disponible per la instal·lació de fotovoltaica. En canvi, l'edifici 2 presenta una situació més favorable en quan a disponibilitat d'espai a la coberta.

Degut a la distribució de la coberta que presenta l'edifici 1, els panells fotovoltaics són instal·lats amb azimuth -45° a diferència del cas de l'edifici de l'altre edifici que són instal·lats a 30° .

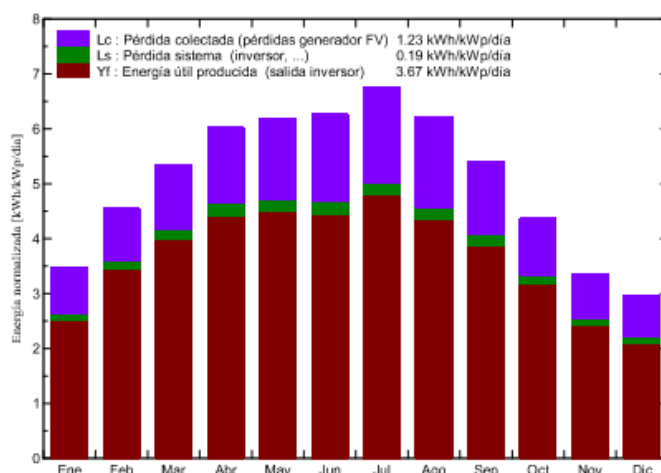


Il·lustració 25. Distribució de plaques fotovoltaïques al terrat de l'edifici 1



Il·lustració 24. Distribució de plaques fotovoltaïques a l'edifici 2

En el cas de la instal·lació a l'edifici 2 (que cobrirà la demanda del l'edifici 1, el gran) es planteja la instal·lació de 96 panells de 250 Wp cadascun, que representen 24 kWp nominals. Aquest sistema té un factor de rendiment anual del 72,1% de mitjana amb la següent generació d'energia:

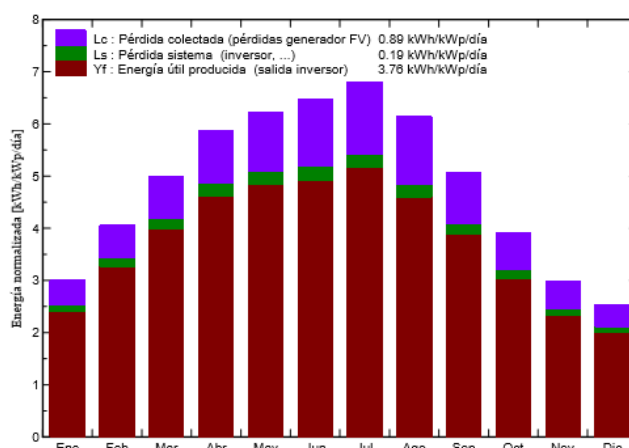


Il·lustració 23. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes

En el cas de la instal·lació a l'edifici 1 (que cobrirà la demanda del l'edifici 2) es planteja la instal·lació de 36 panells de 255 Wp cadascun, que representen 9,2 kWp nominals. Aquest sistema té un factor de rendiment anual del 77,6 % de mitjana amb la següent generació d'energia. Com es pot observar, tot i que l'orientació no sigui l'òptima, el rendiment millora respecte a l'altre edifici, degut a l'efecte que generen les ombres: en l'edifici 2, apareixen més

obstacles que en creen. A més a més, es planteja que la instal·lació doni servei als dos edificis petits, ja que la instal·lació està sobredimensionada per a un edifici. D'aquesta manera, els càlculs es realitzaran amb la meitat de la fotovoltaica instal·lada (que 4,6 kWp produeixen 6150 kWh/any) per a fer el càlcul enfocat a un sol edifici,

D'aquesta forma, en el cas que més endavant, és vulgui instal·lar generació fotovoltaica resta lliure un altre edifici igual que l'edifici 1 (en quant a superfície i possible disposició dels panells) i un altre de dimensions similars a l'edifici 2 (però amb menys disponibilitat d'espai a la coberta) per a cobrir el total de la demanda.



Il·lustració 26. Distribució de l'energia del sistema fotovoltaic per a cada mes

10.3. Selecció de la bateria i resultats de la instal·lació optimitzada

10.3.1. En l'edifici 1

Com s'ha comentat anteriorment, es realitza aquest càlcul i els posteriors amb la meitat de la instal·lació ja que la utilització de la coberta podria cobrir els dos edificis petits, de manera que s'estudia el cas unitari d'un edifici. El resultat, considerant una generació de 6150 kWh/anuals, són els següents:

Capacitat [kWh]	Ecompr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix Pcontr.[€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total[€]
sense bat	3896	-	311	617	161	153	937
2,5	3040	346	311	482	212	114	890
5	2288	322	311	363	255	80	849
6,4	1924	309	311	305	277	64	829
7,5	1694	294	311	268	290	53	816
sense PV	6656	-	311	1054	-	-	1410

Taula 14. Resultats de les simulacions de l'edifici 1 amb diferents capacitats de bateria

En aquest cas, el cost per la potència instal·lada és 0.

Pel que fa la selecció de la bateria es calcula que serà de 6,4 kWh útils. La bateria seleccionada seria el primer model de la PowerWall de Tesla®, de 7 kWh nominals. Aquest tipus de bateria seleccionada es va presentar a la seva sortida com un producte catalitzador de la instal·lació de fotovoltaica amb emmagatzematge, ja que presentava un preu inferior a la resta de bateries liti-íó que actualment hi ha el mercat.

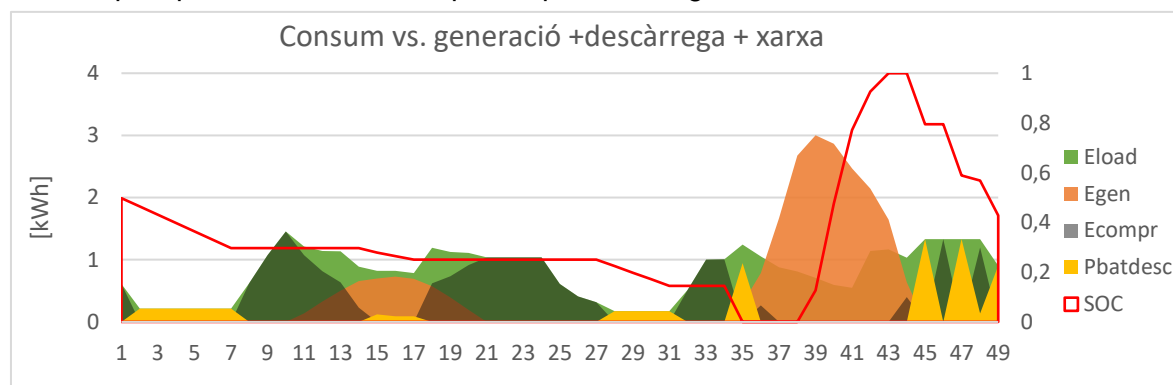
Cost variable de l'energia comprada	1924 kWh	305 €
Cost variable de l'energia auto-consumida	4753 kWh	+ 277 €
Import de l'energia venuda a la xarxa	1397 kWh	- 64 €
Cost total amb PV + bat (sense càrrecs fixos Pcontr)		518 €
Cost total sense PV (sense càrrecs fixos Pcontr)		1098 €
Estalvi anual		580 €

Taula 15. Balanç econòmic de la instal·lació per a l'edifici 11

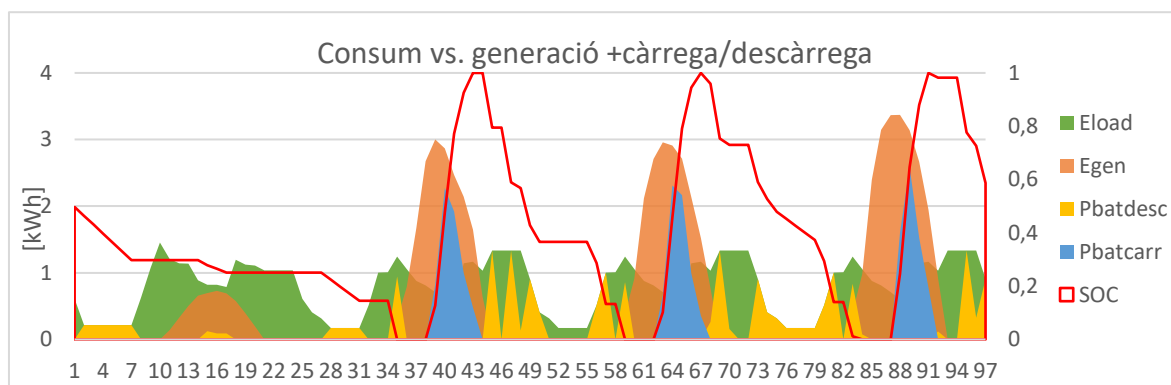
El benefici és de 580 € anuals que si es té en compte l'IVA ascendeix a un total de 702 €.

Una vegada realitzada la simulació amb la bateria seleccionada es van extreure els següents resultats: com es pot veure en la Il·lustració 28 (representació de 2 dies de març, un amb poca insolació i l'altre amb plena insolació) la generació cobreix gran part de la demanda d'energia instantània fins i tot amb excedent, i per tant, la bateria té un bon funcionament. Com l'algoritme treballa amb la coneixença de totes les dades posteriors, la bateria és descarregada totalment abans de la pròxima càrrega (quan hi ha disponibilitat d'energia generada) independentment de l'hora ja que no hi ha discriminació horària en la tarifa contractada.

Tot i instal·lar una generació fotovoltaica que genera gairebé tanta energia com és necessària per la demanda, la demanda sols es redueix a 1/3. Això és degut que tenint en compte la generació d'energia disponible, la bateria podria presentar més capacitat i per tant tenir més abast en quant a disponibilitat d'energia. Això es pot observar en la Il·lustració 27, que a excepció dels dies de baixa insolació, la càrrega en els altres dies és ràpida i els cicles són diaris. Ara bé, els costos que suposa l'ampliació d'aquesta capacitat són superiors als beneficis que aportaria tenint en compte els preus i la legislació del moment.



Il·lustració 28. Perfils de consum, generació, descàrrega de bateria i energia de xarxa durant dos dies de març



Il·lustració 27. Perfils de consum, generació i de càrrega i descàrrega de la bateria

10.3.1.1. Pressupost i estudi econòmic

Seguidament a la simulació i la comprovació del bon funcionament del sistema de generació i emmagatzematge se'n realitza l'estudi econòmic per obtenir-ne la viabilitat econòmica. Per això, es té en compte el cost de la inversió inicial, el cost degut a la revisió anual i l'estalvi que implica la nova instal·lació.

La inversió inicial amb els dispositius que es planteja instal·lar està especificada a la Taula 16.

18 mòduls ISF-255 kWp	4140 €
Bateria 7 kWh Tesla ®	3040 €
2 inversors VICTRON Phoenix 2000W 24V	1750 €
Regulador de càrrega	150 €
Despeses d'instal·lació	1000 €
Total	10080 €

Taula 16. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici 1 (cobrir la demanda de l'edifici 2)

10.3.2. En l'edifici 2

Després d'obtenir la corba de generació fotovoltaica per aquesta situació s'inclou en l'algoritme i en el programa de càlculs i s'obtenen els següents resultats per diferents dimensions de bateries:

Capacitat [kWh]	Ecompr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix Pcontr.[€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total[€]
sense bat	39491	-	1580	3349	463	494	4899
7,5	37068	411	1580	3111	518	384	4825
10	36316	363	1580	3038	539	351	4807
15	34918	307	1580	2904	566	288	4763
20	33665	292	1580	2784	592	231	4725
sense PV	60637	-	1580	5278	-	-	6858

Taula 17. Resum de resultats amb diferents bateries instal·lades a l'edifici 2

Com es pot observar, la instal·lació de bateries massa petites per a la instal·lació (de 7,5 kWh i 10 kWh) arriba a ser contraproductiu, de tal manera que suposa un augment del cost anual. En aquest punt, es decideix pel sistema seleccionar una bateria aproximadament de 15 kWh útils, ja que la variació en cicles de 15 a 20 kWh no implica un gran canvi en quant a allargament de la vida útil i a més, el benefici €/kWh que reporta la instal·lació de la bateria de 20 kWh respecte de 15 kWh és molt reduït enfront a l'augment de costos que suposa.

Després de fer un estudi de l'oferta, es decideix seleccionar 13 mòduls de bateria d'1,2 kWh de capacitat. S'ha seleccionat aquest model de bateria ja que a mesura que augmenta la capacitat de la bateria, l'oferta disminueix i aquesta opció és adaptable a la gran majoria d'escenaris (capacitats instal·lables fins a 20 kWh).

El resultat degut al càrrec per potència instal·lada és gairebé zero.

D'aquesta forma, els resultats finals són:

Capacitat [kWh]	Ecompr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix Pcontr.[€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total[€]
14,4	35077	309	1580	2919	563	295	4767

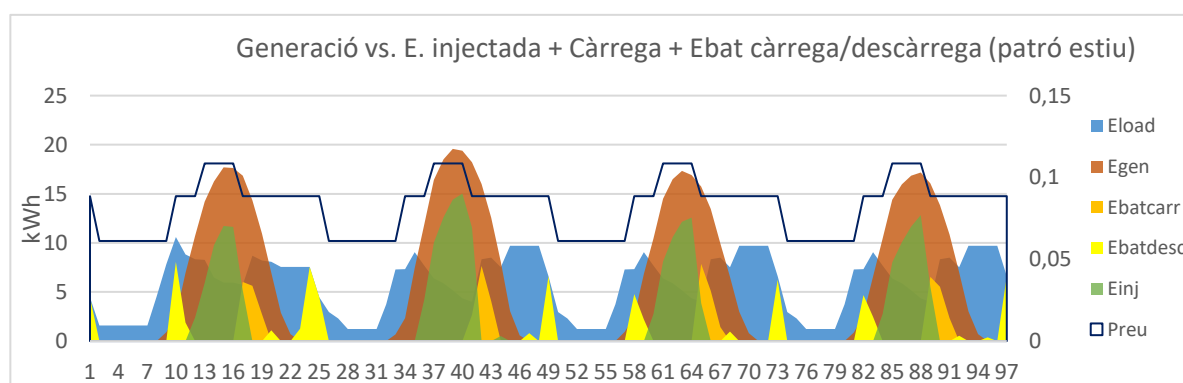
II-lustració 29. Resultats finals amb la bateria seleccionada

De manera que el balanç anual tenint en compte la disminució dels costos de la xarxa, l'aparació dels costos d'autoconsum i el benefici de la venda a la xarxa resulta:

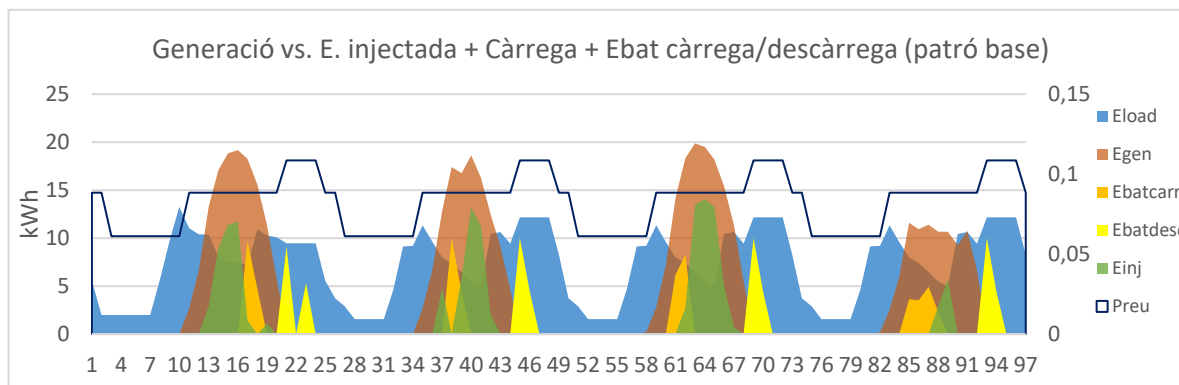
Cost variable de l'energia comprada	35077 kWh	2919 €
Cost variable de l'energia auto-consumida	25559 kWh	563 €
Import de l'energia venuda a la xarxa	6554 kWh	295 €
Cost total amb PV + bat (sense càrrecs fixos Pcontr)		3187 €
Cost total sense PV (sense càrrecs fixos Pcontr)		5278 €
Estalvi anual		2091 €

Taula 18. Balanç anual de la instal·lació de PV+ emmagatzematge

Com es pot veure en la II-lustració 31 i la II-lustració 30, la bateria es descarrega sempre en casos de tarifa de preu intermig en època d'estiu (ja que el preu alt coincideix amb les hores de màxima insolació) i preu alt (en època d'hivern) per tal d'optimitzar el balanç econòmic.

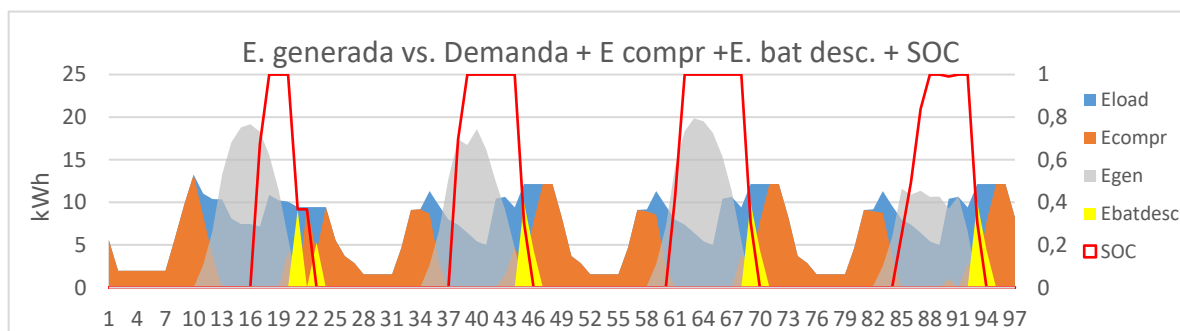


II-lustració 30. Distribució energètica per a la instal·lació de l'edifici 2 durant l'estiu



Il·lustració 31. Distribució energètica per a la instal·lació de l'edifici 2 pel patró base

Com es pot veure en la Il·lustració 32, la fotovoltaica genera energia suficient per cobrir la demanda instantània i distribuir la sobrant entre la injecció a la xarxa i la càrrega de la bateria, de manera que la majoria de dies s'arriba a carregar totalment la bateria. Pel que fa l'energia comprada com s'esperava és desplaçada a les hores on no hi ha generació i de manera que coincideix amb la demanda amb l'excepció dels moments que la bateria és descarregada, amb la mateixa tendència al llarg de l'any (tant pel període base com per el període d'estiu)



Il·lustració 32. Distribució segons orígens de l'energia per cobrir la demanda de l'edifici 1

10.3.2.1. Pressupost i estudi econòmic

El pressupost per a la inversió inicial es mostra a la Taula 19. Com es pot observar, el valor ha augmentat respecte als altres casos estudiats lligat a l'augment de les dimensions de la instal·lació.

96 mòduls ISF-250 kWp (mono)	22800 €
13 mòduls de bateria de 1,2 kWh	16250 €
6 inversors Conext 4000W	7800 €
3 reguladors de càrrega Steca Power Tarom 2070	3600 €
Despeses d'instal·lació	1000 €
Total	51450 €

Taula 19. Detall dels preus dels dispositius de la inversió inicial per a l'edifici 2 (cobrir la demanda de l'edifici 1)

A continuació es calcula la viabilitat de les instal·lacions juntes a partir de la suma de les inversions i dels beneficis de les dos. Realitzant l'estudi pels 6 subcasos s'arriba a la conclusió que:

- La realització de la inversió tant en el cas amb augment de tarifa com amb manteniment de tarifes amb un interès del 0%, és viable amb 16,2 anys i 18,3 anys, respectivament.
- La resta d'inversions no són viables ja que en el cas de l'augment de tarifes el TIR resulta de 2,36% (inferior als altres casos amb subvencions i amb préstec bancari) o del 0,35% pel cas de manteniment de tarife

11. Impacte ambiental de les instal·lacions plantejades

L'impacte ambiental per cadascun dels casos estudiats es planteja que ha de ser positiu pel fet d'instal·lar energies renovables. A més a més, els sistemes de generació fotovoltaics de dimensions reduïdes tenen un impacte ambiental poc agressiu, al tractar-se d'elements immòbils i en aquest cas concret, que es troben en localitzacions urbanes sense alterar gairebé l'ecosistema de l'entorn.

Per a fer el balanç energètic i ecològic se seleccionen dos indicadors: l'energia estalviada i les emissions de CO₂ equivalents. Per aquest càlcul, es contemplen el valor d'aquests dos indicadors (extrets dels documents (17), (18) i (19)) per a la fabricació de les bateries i les plaques fotovoltaïques (els components del sistema que tenen més en pes) enfront l'energia generada i les emissions evitades en cas que s'hagués generat la mateixa quantitat d'energia amb el mix energètic de l'estat espanyol.

Aquests valors però no són exactes ja que tot i ser calculats de forma proporcional a la capacitat de la bateria i a la potència pic dels mòduls, en detall s'haurien de tenir en compte concretament el model, el procés de fabricació o el lloc de fabricació.

Els valors que es tenen en compte per fer la comparació és la durada de la vida útil de la bateria, que s'ha fixat a 20 anys per a totes les situacions. Probablement, les plaques fotovoltaïques té una vida major però s'analitza aquest valor per fer l'estudi del sistema inicial complet.

Per a l'edifici de 9 plantes:

	Energia fabricació [kWh]	CO ₂ fabricació [tones CO ₂]	Energia generada [MWh]	Emissions evitades [tones CO ₂]
4,2 kWp PV	11231	0,96	122,5	37,00
Bateria 6,4 kWh	1002	0,70		
Balanç energètic				+ 111,27 MWh
Balanç CO2 (tones de CO ₂)				35,34 tones CO ₂

Taula 20. Impacte ambiental de la instal·lació per a l'edifici de 9 plantes

Per a l'edifici de 3 plantes:

	Energia fabricació [kWh]	CO ₂ fabricació [tones]	Energia generada [MWh]	Emissions evitades [tones CO ₂]
4,8 kWp PV	12835	1,17	130,82	39, 51
Bateria 3,3 kWh	516	0,36		
Balanç energètic				+ 117,47 MWh
Balanç CO2 (tones de CO ₂)				37,98tonesCO ₂

Taula 21. Impacte ambiental de la instal·lació per a l'edifici de 3 plantes

En l'últim cas, fent un balanç de les dues instal·lacions:

	Energia fabricació [kWh]	CO ₂ fabricació [tones]	Energia generada [MWh]	Emissions evitades [tones CO ₂]
4,6+ 24 kWp PV	76476	47,42	889,02	268,48
Bat. 14,4+ 7kWh	3913	2,74		
Balanç energètic				+ 808,63 MWh
Balanç CO2				218,33tonesCO ₂

Taula 22. . Impacte ambiental de les instal·lacions per al cas de l'edifici de 18 plantes (edifici 1 i 2)

Com es pot veure, en tots els casos l'impacte ambiental és beneficiós ja que el balanç és positiu: els sistemes generen més energia de la invertida en la seva fabricació i eviten més emissions de les que es generen a la seva fabricació, tal i com s'esperava. També comentar que el cost energètic més alt el provoquen les plaques fotovoltaïques, ja que la seva producció representa entre un 9% - 10% de la seva generació total al llarg del temps d'estudi. Això coincideix en l'especificació que els primers dos anys d'un panell fotovoltaic (dels 20 anys que es calcula que pot tenir) generen l'energia equivalent necessària a la seva fabricació.

12. Estudi de noves possibilitats d'implantació del sistema de generació i emmagatzematge

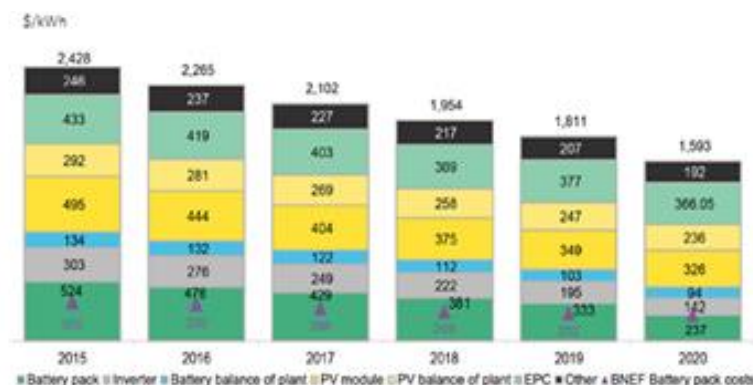
En els casos anteriors s'ha utilitzat exemples d'edificis amb habitatges, on la cobertura del sistema fotovoltaic sol es reduïa a les instal·lacions comunitàries de la finca, com són la il·luminació de l'escala o l'ascensor. En aquest apartat el que es proposa és realitzar un anàlisi amb l'eina desenvolupada en l'apartat de l'optimització per a buscar noves possibilitats d'implantació de sistemes de generació fotovoltaica amb emmagatzematge.

L'estudi se centra per tant en consums d'edificis no residencials. En aquests casos, el consum creix en comparació als casos anteriors ja que tota de la demanda de l'edifici està associada a un CUP/usuari.

Per altra banda, també s'ha de considerar que en aquests casos s'utilitzen en tots els casos la tarifa d'electricitat com la 3.0A.

Els models de dades que s'han utilitzat per analitzar serviran per obtenir algunes conclusions en quant a la instal·lació d'aquests sistemes: segons el model de consum, la potència i la capacitat instal·lada... Per generalitzar l'estudi, es considera l'equivalència que es generen 1500 kWh/kWp instal·lat; un valor aproximat a partir de les simulacions del PVSyst en situacions com Barcelona.

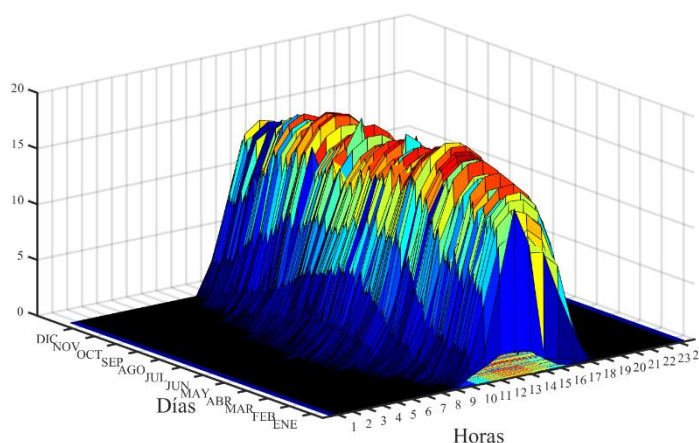
Per a l'anàlisi econòmic, s'utilitza valor mitjà que s'aproximin a la realitat ja que al considerar-se d'una situació genèrica no s'entra en la selecció de models concrets per falta d'informació. D'aquesta forma, s'utilitza la Il·lustració 33 per al càlcul de pressupostos on es fa una estimació del cost de cada component del sistema de generació i la previsió de les variacions de preus en els propers anys:



Il·lustració 33. Previsió d'evolució de costos dels components d'autoconsum de FV amb emmagatzematge de liti-ió. Font: *Blomberg, Cost reductions and residential storage drivers*

Altres consideracions que s'han fet al llarg de l'estudi de noves possibilitats d'implantació són:

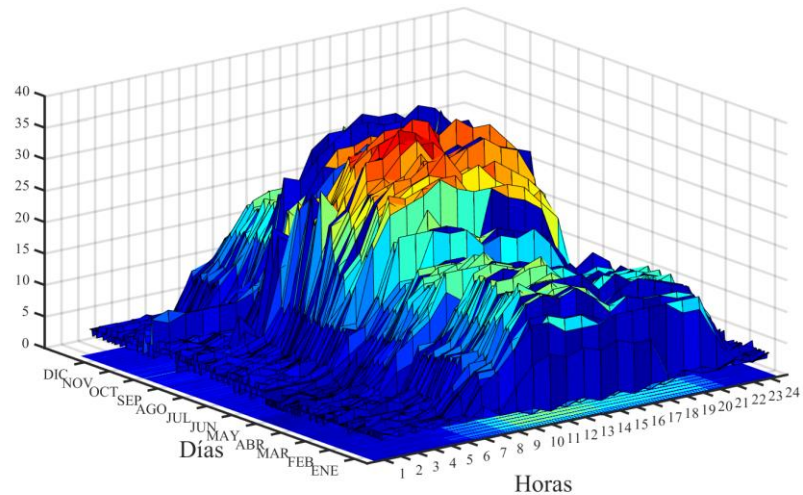
- el preu de la venda d'energia estipulat serà de 0,045 €/kWh tot tenint en compte un valor similar al preu de pool i els impostos per generació.
- La simulació es realitza per a diferents casuístiques com en els casos anteriors, en la qual es varia la capacitat i potència de les bateries segons models estàndards disponibles al mercat: tot i que com més petita sigui la bateria té un cost reduït però tendeix a presentar més cicles cada any i per tant, una vida més curta.
- Se suposa que la bateria no presenta desgast al llarg del seu ús però té una vida útil de 6000 cicles aproximadament, ja que sobrepassat aquest valor les bateries troben reduïdes la seva capacitat al 80-85% si s'han mantingut en condicions ambientals adequades.
- en quant a la simulació de la generació, s'ha agafat un corba de distribució d'energia generada per a cada hora de l'any que té la següent forma:



Taula 23. Distribució de l'energia generada per la fotovoltaica

12.1. Primer cas: CAP

En aquest primer estudi les dades són extretes del consum d'un edifici on hi ha un CAP. Fent un anàlisi de la periodicitat dels consums, es contempla que la demanda disminueix cada 7 dies (els diumenges) que tanca el centre. També es pot observar un augment del consum entre el juny i el setembre.



Il·lustració 34. Mapa de consum horari d'un CAP

Per aquest perfil de consum s'arriba a un consum horari de 35 kWh pel que s'extrapola que la potència contractada serà de 35 kW, amb un consum total anual de 91865 kWh. La tarifa seleccionada és de 3.0A i es preveu instal·lar en la coberta 10 kWp que produirien 15000 kWh anuals.

Tot i el gran consum que presenta aquest cas, se selecciona una potència pic per ser simulada reduïda (l'energia generada representa un 16% enfront l'energia que es consumeix al llarg de l'any). El valor del dimensionament i de la generació anual del sistema de FV és orientatiu, ja que es parteix d'un model genèric del qual no se'n coneix ni la ubicació ni l'espai disponible per a instal·lar les plaques fotovoltaïques, tant en aquest cas com en els exemples posteriors.

12.1.1. Anàlisi de la simulació

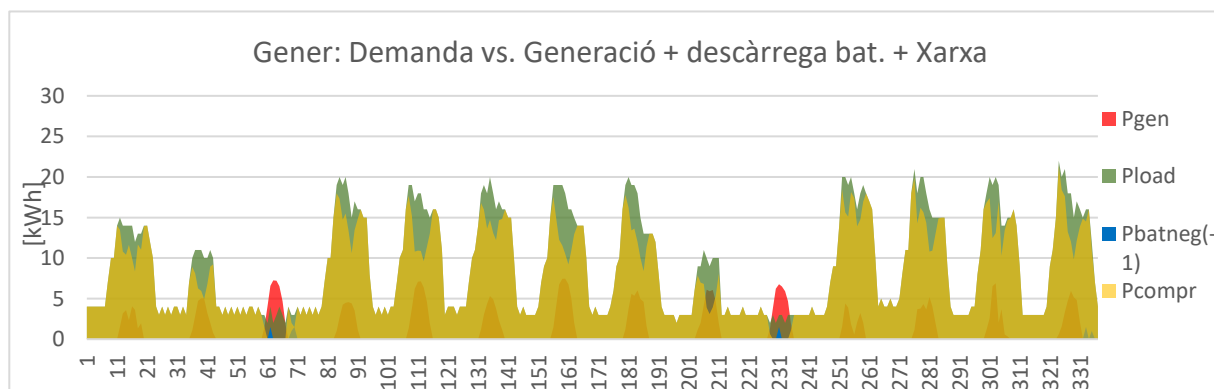
A partir de les corbes de demanda i de generació se simulen escenaris amb bateries de diferents capacitats (seleccionades prèviament en relació amb la potència de fotovoltaïca instal·lada). Una vegada incloses les dades a les funcions i a l'algoritme, se n'extreuen els resultats resumits i indicats en la Taula 24.

Capacitat [kWh]	Cicles	Ecompr [kWh]	Cost Fix Pcontr [€]	Cost Var. Xarxa [€]	Venda [€]	Cost Var Autoc. [€]	Cost Final [€]
Sense bat	-	47432	3176	6837	46	316	10283
2,5	84	46589	3176	6822	40	319	10277
5	76	45819	3176	6809	35	321	10273
7,5	64	45115	3176	6798	30	324	10269
10	56	44475	3176	6787	25	327	10265
15	48	43361	3176	6767	17	331	10258
sense PV	-		3176	8164	-	-	11341

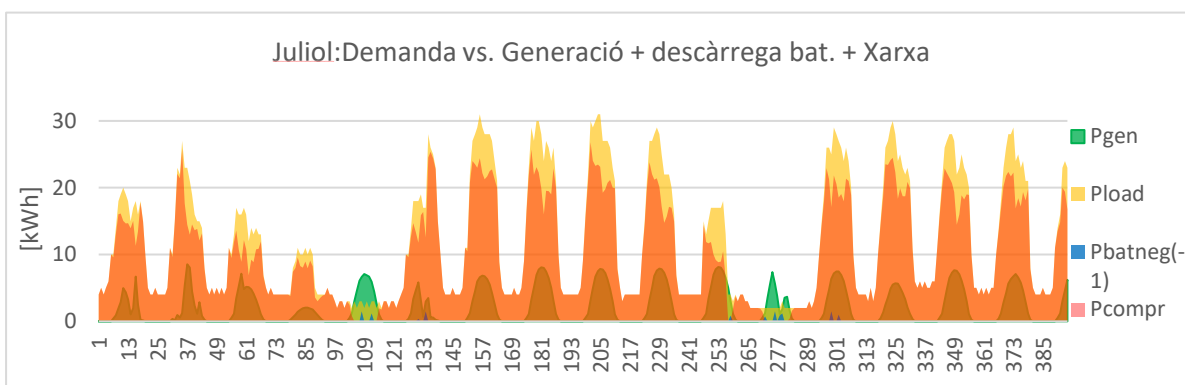
Taula 24. Resultats obtinguts en les simulacions per a la corba de demanda del CAP

Com es pot observar, la bateria presenta pocs cicles per any degut al poc marge d'energia fotovoltaica que és consumida instantàniament. Per altra banda, aquest fet concorda si s'analitzen els dos gràfics posteriors (simulació d'una bateria de 2,5 kWh reals): en ambdues situacions representades (gener, on la demanda és més baixa i juliol, quan creix la demanda d'energia) es mostra un patró similar. Al llarg de la setmana, l'energia generada cobreix la demanda instantàniament (fins i tot els dissabtes, on el consum disminueix) i només en diumenge i festius, l'energia generada pot ser emmagatzemada (hi ha excedent) per ser descarregada en altres moments.

També esmentar que l'energia injectada a la xarxa sols se situa en els dies que hi ha excedent. Degut a la poca flexibilitat que ofereix la situació, el benefici per €/kWh de bateria instal·lat és molt baix i en cas d'implantació del sistema de generació i emmagatzematge, el model de bateria seria reduït en comparació a altres casos amb instal·lacions de FV de dimensions similars.



Il·lustració 35. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per al gener



Il·lustració 36. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per al juliol

12.1.2. Pressupost i viabilitat econòmica

A partir de l'anàlisi anterior, es calculen els pressupostos per a dues bateries diferents (el cost de la fotovoltaica no varia). En el primer cas, la bateria disposaria de 2,5 kWh reals pel que la bateria tindria una capacitat de 3,1 kWh nominals. En el segon cas, la bateria disposaria de 5 kWh reals pel que la bateria tindria una capacitat de 6,2 kWh nominals. Els resultats que s'extreuen són el següents:

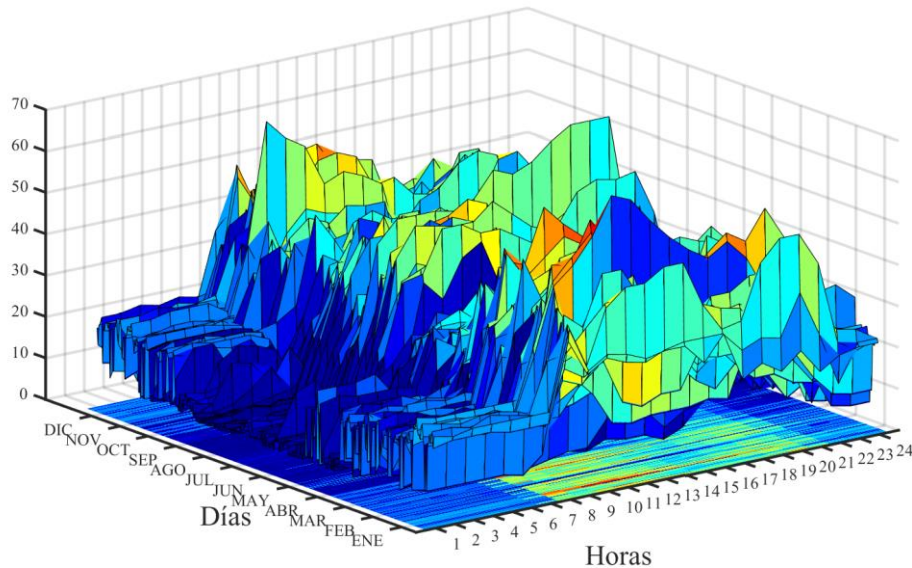
	Cost amb bat. 2,5 kWh [€]	Cost amb bat. 5 kWh [€]
Bateries	1413	2825
Mòduls de FV	3953	3953
Sist. Generació Energia(PV+ bateries)	1226	2451
Inversor	819	1638
Altres	1947	3894
Total	9357 €	14761 €

Taula 25. Pressupostos per cada cas de bateries possibles del CAP

Com es pot veure, l'augment de capacitat representa un increment de més de 5000 € com a conseqüència de l'augment de la bateria i el dimensionament de la resta de dispositius d'acord amb aquesta; de manera que la inversió es passa de poder recuperar-se en 8,8 anys a 13,82 anys.

12.2. Segon cas: Edifici d'oficines

En aquest cas les dades són extreptes del consum d'un edifici d'oficines. Com s'intueix en la Il·lustració 37 existeix un consum elevat entre les 8 i 20h, que encaixen amb hores de jornada laboral i s'entreveu un petit descens del consum a prop de les 15h.



Il·lustració 37. Mapa de consum horari d'un edifici d'oficines

Per aquest perfil de consum s'arriba a un consum horari de 69 kWh pel que s'extrapola que la potència contractada serà de 69 kW. La tarifa seleccionada és de 3.0 i es preveu instal·lar en la coberta 12 kWp que produirien 18000 kWh anuals.

12.2.1. Ànlisi de la simulació

Es realitza l'optimització segons les condicions d'aquesta situació i s'obté diferents consideracions:

- L'energia generada per la fotovoltaica se situa en hores d'alt consum.
- L'optimització està configurada per a què el consum de l'energia fotovoltaica sigui instantani, queda poc marge de maniobra tant per la venda com per la càrrega de la bateria
- La instal·lació de bateries no aporta beneficis ja que té un ús molt baix com es pot veure en la Taula 26.

Per tant, s'extreu que en aquesta situació no s'instal·laria un sistema d'emmagatzematge ja que en el millor cas de la simulació, la major diferència d'energia comprada entre el cas amb bateria i el cas sense bateria és de 22 kWh/any; que indica que la major part de l'energia és directament autoconsumida, i fins i tot l'energia injectada representa una quantitat irrisòria.

Capacitat [kWh]	E compr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix xarxa [€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total [€]
sense bat	167024	-	5295	14373	408	0,98	20074
2,5	167013	4,12	5295	14372	408	0,51	20076
5	167006	3,54	5295	14371	408	0,20	20076
7,5	167003	2,80	5295	14371	408	0,03	20076
10	167002	2,17	5295	14371	408	0,00	20076
sense PV	185002	-	5621	16083	-	-	21703

Taula 26. Resum de resultats del consum elèctric considerant l'autoconsum en cada cas

Tot i així, com es pot observar la instal·lació de fotovoltaica sí que representa una disminució dels costos anuals i podria ser una inversió a tenir en compte.

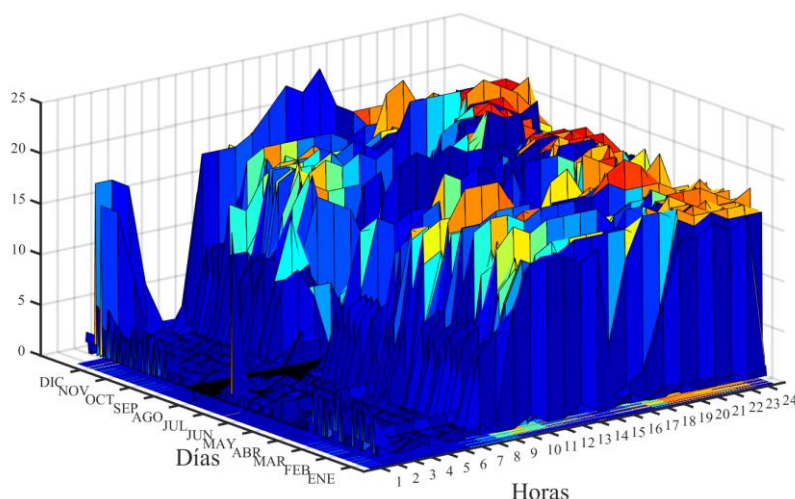
12.3. Tercer cas: Edifici del poliesportiu

En aquest cas les dades són extretes del consum de poliesportiu urbà. Fent un anàlisi a fons de la corba de demanda, al llarg de l'any presenta dos pics de demanda: al matí (al voltant de les 9-10h) i un altre a la tarda (a excepció de l'agost que tanca i sols presenta un consum de manteniment). A excepció de dies festius, no s'observen tancaments/baixades de consum al llarg del cap de setmana.

El consum anual resulta 53716 kWh, amb una energia consumida màxima per hora de 25 kWh, que s'extrapola a una potència contractada de 25kW.

En aquest cas, se suposa que l'espai per la instal·lació de la fotovoltaica és superior, pel que se simula que s'instal·la 15 kWp, el que genera anualment 22500 kWh. Això és degut que l'espai disponible és ampli ja que al ser un poliesportiu inclou camp d'esports dins l'edifici, en comparació als altres casos.

D'on s'extreu que les hores de generació solar coincideixen amb el període baix de consum (migdia) fet que indica que l'emmagatzematge serviria com a suport per a l'aprofitament de la fotovoltaica en aquests casos.



Il·lustració 38. Mapa de consum horari d'un poliesportiu

12.3.1. Anàlisi de la simulació

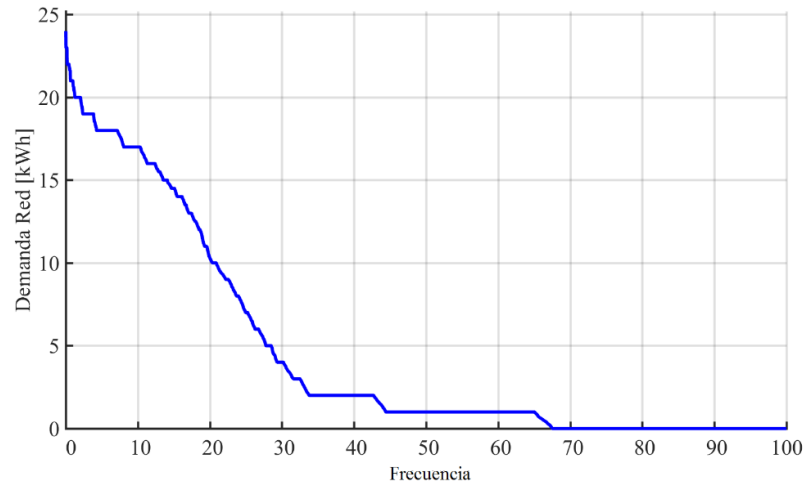
Donada la situació plantejada, es fa l'anàlisi per a diferents casos de bateries segons les seves dimensions. Com s'espera i s'observa en la Taula 27, l'energia comprada a la xarxa disminueix a mesura que augmenta la capacitat de la bateria ja que la flexibilitat que ofereix l'emmagatzematge facilita l'aprofitament de l'energia generada per la fotovoltaica.

En el cas que s'analitza la situació sense bateria s'aprofita un 52% de l'energia generada per al consum directe (la resta és venuda a la xarxa a un preu més baix que el de compra) i en canvi, en el cas de la bateria de 15 kWh instal·lats, s'arriba a aprofitar un 71% pel consum del propi poliesportiu.

Capacitat [kWh]	E compr. [kWh]	Cicles bateria	Cost Fix xarxa [€]	Cost var. xarxa [€]	Cost var auto [€]	Venda [€]	Cost Total [€]
sense bat	41993	-	1955	3749	254	485	5473
2,5	41174	436	1922	3668	272	448	5415
5	40402	376	1922	3593	290	413	5393
7,5	39664	346	1955	3524	307	380	5406
10	38956	331	1955	3458	325	348	5390
15	37761	284	1955	3347	351	295	5359
sense PV	53716	-	2036	4841	-	-	6877

Taula 27. Resum de resultats del consum elèctric considerant l'autoconsum en cada cas

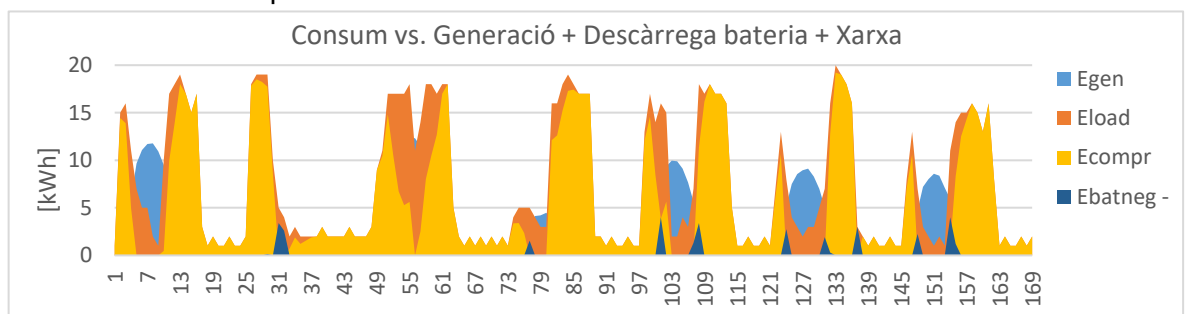
També esmentar que el cost per potència instal·lada ha resultat entre 1€ i 2€ segons el cas. Aquest fet és degut que tot i la disminució de potència contractada gairebé no es penalitza ja que el consum majoritari se situa a valors notablement inferiors a 25 kWh, com s'observa en la Il·lustració 39 per al cas concret de la instal·lació d'una bateria de 7,5 kWh.



Il·lustració 39. Distribució de freqüència dels valors de consum de xarxa en el cas de bateria DE 7,5 kWh

Tot i així, s'ha de buscar la solució de compromís de tal manera que hi hagi cert balanç en el cost de l'augment de capacitat de la bateria i l'estalvi en energia de la xarxa, alhora que es té en compte altres particularitats, com la suma de cicles que realitza la bateria anualment que aniran en detriment de la seva vida útil, com ja s'ha esmentat en apartats anteriors. En aquest cas concret, l'opció òptima és la instal·lació de 15 kWp i una bateria de 7,5 kWh reals de manera que presentaria un estalvi de costos de 1471 €/anuals.

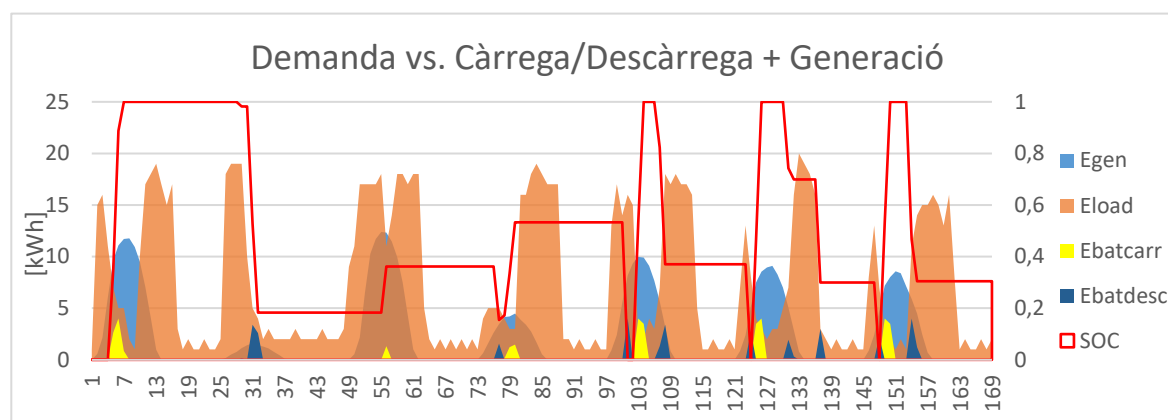
Tal i com es pot observar, en la Il·lustració 40 (graficada una setmana d'abril) l'energia comprada horàriament a la xarxa segueix el perfil de la demanda excepte en casos de generació, que té prioritat ja que resulta gratuïta. Per altra banda, l'energia provinent de la bateria representa petites diferències entre l'energia comprada i l'energia demandada (Eload), als inicis o finals dels pics de demanda.



Il·lustració 40. Corbes de demanda, generació, descàrrega de la bateria i energia de la xarxa per una setmana d'abril del poliesportiu

Un altre fet a remarcar, és que pel particular distribució de consum (2 pics, un al matí i un a la tarda) del poliesportiu el sistema d'emmagatzematge serveix per a l'aprofitament de l'energia

fotovoltaica. Com es pot veure en la Il·lustració 41, on la càrrega (se situa en la vall entre aquests dos pics:



Il·lustració 41. Corbes de demanda, generació, càrrega i descàrrega de la bateria per a una setmana del poliesportiu

Finalment, també observar com s'esperava que la descàrrega de bateria no se situa en les hores vall de preu que equivalen de 0 – 8h encara que hi hagi disponibilitat, per tal d'optimitzar-ne el balanç econòmic.

12.3.2. Pressupost i viabilitat econòmica

En la situació actual, es calcula que la bateria disposaria de 7,5 kWh reals pel que la bateria tindria una capacitat de 9,4 kWh nominals. Considerant que el sistema està ben dimensionat respecte aquesta dada el resultat de la inversió inicial representaria:

Bateries	4238 €
Mòduls de FV	3953 €
Sist. Gestió Energia (PV+ bateries)	3677 €
Inversor	2457 €
Altres	5840 €
Total	20166 €

Taula 28. Pressupost del sistema generació i emmagatzematge del poliesportiu

Tenint en compte que el benefici anual (l'estalvi en la compra de l'energia) és de 1471 €, la inversió es podria recuperar aproximadament en 13,7 anys.

13. Pressupost del projecte

Pel que fa el costos del projecte s'ha de tenir en compte cadascun dels recursos utilitzats. En aquest apartat, no s'analitza el pressupost ni la viabilitat econòmica dels projectes presentats anteriorment sinó el desenvolupament del treball i més concretament, el desenvolupament de l'eina de matlab i els càlculs i conclusions obtingudes en tot el treball.

Com a cost directe, es pot considerar que aquest TFM ha suposat mitja jornada laboral d'enginyeria al llarg de 4 mesos (durada del quadrimestre aproximadament).

Pel que fa el programari necessari s'ha utilitzat dos softwares específics d'elevat preu: el Matlab i el PVSyst.

Altres costos a considerar, són l'amortització de l'ordinador, considerant una vida de 5 anys i el suposat lloguer (incloent llum i aigua) de l'espai on s'instal·laria el despatx d'enginyeria on s'hauria realitzat l'estudi.

El cost total resultaria especificat a la Taula 29:

Concepte	Valor unitari	Cost proporcional
Salari d'enginyer/a	18.000 €/any	3000 €
Llicència Matlab	2000 €/any	667 €
Llicència PVSyst	920 €/any	307 €
Lloguer espai	600 €/ mes	2400 €
Amortització ordinador	1500 €/ 5 anys	100 €
Total		6474 €

Taula 29. Pressupost del treball realitzat tenint en compte els costos directes i indirectes

Conclusions i possibles propostes de futur

En aquest apartat es presenten les conclusions de l'anàlisi del treball i dels seus resultats. Fent un anàlisi dels estats de l'art de cadascun dels dispositius es pot concloure que la tònica general és que algunes de les tecnologies ja estan disponibles per la seva aplicació però les legislacions i els preus no col·laboren en la implantació generalitzada.

Un dels casos on es pot analitzar aquesta situació és a l'estat espanyol: com s'ha pogut veure al llarg del treball, l'actual marc legal complica molt la instal·lació de generació distribuïda, en el cas estudiat, la fotovoltaica. Un sistema de fotovoltaica amb emmagatzematge acostuma a ser poc viable econòmicament: ja no sols perquè el cost de l'emmagatzematge actualment se situa a preus massa alts pels beneficis que se n'obté, de manera que els períodes de retorn resulten llargs, fins i tot inassolibles (per exemple superiors a la vida útil de la bateria) sinó també pels càrrecs econòmics que la legislació aplica.

En els diferents casos estudiats (els habitatges i les corbes de consum) queda palès que la instal·lació de fotovoltaica i emmagatzematge necessita un anàlisi profund de cadascuna de les situacions per a fer un bon dimensionament. En el cas d'aquest treball, que s'ha optat per només carregar la bateria de l'energia fotovoltaica i en cas d'excedent (es prioritzava l'autoconsum instantani), la generació ha de cobrir gran part de la demanda per així tenir marge de càrrega de la bateria. Partint de la simulació de generació fotovoltaica obtinguda, una dada important és la proporció entre E. generada/E. consumida, per exemple. L'augment de l'energia generada pot aportar beneficis en qüestió d'estalvi d'electricitat de la xarxa (gràcies a l'emmagatzematge) o en format de remuneració si és l'excedent és injectat a la xarxa. A més a més, aquest fet acostuma a anar lligat indirectament a l'aprofitament de la bateria: com més alta és la proporció, més cicles presenta i per tant, els beneficis que porti l'emmagatzematge seran superiors.

De forma que es pot extreure que el dimensionament de la bateria no és un factor trivial, sinó que existeixen diferents condicions que ho limiten: depenent del comportament de la demanda, la bateria pot tenir un ús continuat o sols puntual, com per exemple sols en els moments de disminució de demanda (caps de setmana o temporada d'estiu); en quant a l'augment de la capacitat de la bateria, l'efecte que representa en tant que cobertura de la demanda és major, sempre que existeixi la disponibilitat d'energia necessària.

Tot i així, també cal esmentar que el valor afegit que aporta la bateria és baix en comparació a la incidència de la fotovoltaica, ja que el seu ús "competeix" amb la venda a la xarxa de manera que en cas que no es tingui un marge de benefici d'€/kWh emmagatzemat superior al preu de venda no es carrega la bateria ja que econòmicament no surt rentable. Una altra de les qüestions que dificulten l'anàlisi econòmic és la comparació del preu per kWh

emmagatzemat en una bateria (contemplant l'estalvi que això suposa pel fet de no ser comprat a la xarxa, però també el desgast de la bateria) amb el preu de pool que es retribueix en la venda d'energia a la xarxa.

Un altre dels aspectes a esmentar és que els estudis econòmics a llarg termini com el VAN i el període de retorn presenten certa incertesa ja que no es planteja que el sistema de càrrecs que presenta l'autoconsum amb el RD 900/15 es mantingui, sinó que es preveu una millora en aquest aspecte que faria variar favorablement el balanç anual.

Pel que a les possibles propostes de futur és necessari esmentar, que en tots els casos el càrrec per potència instal·lada ha resultat zero o proper a zero. Això és degut a la realització de càlculs de potències amb el que són en realitat valors d'energia horaris (kWh), que no reflecteix el comportament del sistema totalment: les variacions intrahoràries (els pics i les davallades de potència) no són analitzats però tenen importància en aquests càlculs. Ara bé, els càlculs realitzats no són equívocs: l'estalvi per potència contractada es confronta amb el càrrec per potència instal·lada de manera que l'estalvi final que repercuteix és reduït. Per a posteriors casos, es plantejaria analitzar situacions amb dades d'energia i pics horaris de potència, encara que en aquests casos les dades són més difícils d'obtenir ja que s'han de contemplar més magnituds i per tant, presentar més registres en els comptadors.

En aquest treball s'ha considerat que la bateria només es carrega a partir de la generació i que l'objectiu era reduir la suma total d'energia comprada a la xarxa. En el cas que es tingués disponibilitat de dades de potència, es podrien analitzar altres estratègies com la gestió de la bateria per tal de reduir els pics de potència (i així reduir la potència contractada) independentment del període de la tarifa; la càrrega a partir de la xarxa en moments de preus baixos de l'electricitat per la descàrrega en franges de preus més alts (amb o sense FV) o la disponibilitat permanent d'energia per a situacions concretes (tipus SAI).

Agraïments

La realització d'aquest treball no hauria estat possible sense les aportacions de l'equip de treball durant les pràctiques a l'empresa en què l'he realitzat, especialment a la Mila, com a tutora, i l'Helena, pel seu seguiment. També vull donar les gràcies al Roberto, el vocal del TFM a l'ETSEIB per les seves orientacions. Als meus pares, per sempre estar allí i donar-me el suport incondicional. Als amics i a l'assemblea de l'ETSEIB per haver-me ajudat a arribar fins aquí.

Bibliografia

1. **Utpal Gangopadhyay, Sukhendu Jana, and Sayan Das.** *State of Art of Solar Photovoltaic Technology*. s.l. : Hindawi Publishing Corporation- Conference Papers in Energy, 2013. 764132.
2. **Emrah Karakayaa, Pranpreya Sriwannawita.** *Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art* . s.l. : ELSEVIER, 2015.
3. **C., Jacobo Romero.** *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró*. s.l. : TFM - UPC, 2015.
4. **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE.** *Photovoltaic Report*. 2016.
5. **Agency), IRENA (International Renewable Energy.** *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES (Volume 1: Power Sector) - IRENA working paper*. 2012.
6. **European PV technology platform steering committee.** *PV LCOE in Europe 2014-30*. Brussels : Photovoltaic Technology Platform, 2014.
7. **Dale, Michael.** *The Energy Balance of the Photovoltaic (PV) Industry: Is the PV industry a net electricity producer?* s.l. : Stanford University, 2013.
8. **Álvarez, Clemente.** Lo que contamina una placa fotovoltaica. *EL PAÍS*. 2010.
9. **Battery Energy Storage Systems.** *Market Technology Operational Installed Power*. 2014.
10. **T.M.I. Mahlia, , T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan.** *A review of available methods and development on energy storage; a technology update*. s.l. : Elsevier, 2014.
11. **Li-ion vs. lead-acid (Ultralife Corp).** [En línia] [Data: 1 / 12 / 2016.] https://www.ultralifecorporation.com/PrivateDocuments/WP_li-ion-vs-lead-acid-WEB_1.pdf.
12. **Institut Català de l'Energia (ICAEN).** *Energia solar fotovoltaica (Col·lecció Quadern pràctic 4)*. s.l. : Generalitat de Catalunya, 2011.
13. **Rodriguez-Pina, Gloria.** Qué es el 'impuesto al sol' y cómo van a cobrar por el autoconsumo energético. *Huffington Post*. 2015.

14. Ministerio de industria, energía y turismo. Real decreto 900/2015, de 9 d'octubre, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum. 2015. Vol. 900/2015.
15. Cargos al autoconsumo: Como se aplican y como afectan. *Solartradex*. [En línia] [Data: 6 / 11 / 2016.] <http://solartradex.com/blog/cargos-al-autoconsumo-como-se-aplican-y-como-afectan/>.
16. Carreras, Laura García. *Proyecto Final de Carrera: HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*. s.l. : Universidad Carlos III Madrid, 2013.
17. Luigi Dusonchet, Enrico Telaretti. *Economic analysis of different supporting policies for the production of electrical energy by solar photovoltaics in eastern European Union countries*. s.l. : Università de Palermo, 2010.
18. Dajun Yue, Fengqi Youa, Seth B. Darling. *Domestic and overseas manufacturing scenarios of silicon-based photovoltaics: Life cycle energy and environmental comparative analysis*. Evanston, IL : Northwestern University, 2014.
19. Khagendra P. Bhandari, Jennifer M. Collier, Randy J. Ellingson, Defne S. Apul. *Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A systematic review and meta-analysis*. Toledo, OH : University of Toledo, 2014.
20. Geoffrey P. Hammond, Tom Hazeldine. *Indicative energy technology assessment of advanced rechargeable batteries*. Bath : University of Bath, 2013.
21. Maik Naumann, Ralph Ch. Karl, Cong Nam Truong, Andreas Jossen, Holger C. Hesse. *Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application*. s.l. : Technische Universität München, 2015.
22. MonSolar. *MonSolar Web (tienda online)*. [En línia] [Data: 26 / 12 / 2016.] <http://www.monsolar.com/>.
23. Tesla presenta 'Powerwall', su batería 'low cost' para el hogar que funciona con energía solar. *20 minutos*. 2015.
24. LUX Research . *Crossing the Line: Li-ion Battery Cost Reduction and Its Effect on Vehicles and Stationary Storage* . 2015.

ANNEXOS

ÍNDEX

A. FUNCIO DE GENERACIO DE PERFILS	2
B. ALGORITME D'OPTIMITZACIO DE LA GESTIO ENERGÈTICA I FUNCIO DE CÀLCULS DE CÀRRECS SEGONS LA LEGISLACIO	5
C. TAULES DE VAN PER A CADA CAS	12
C.1. Edifici de 9 plantes	12
C.2. Cas 2: Edifici de 3 plantes.....	18
C.3. Cas 3: Edifici de 18 plantes.....	24

A.Funció de generació de perfils

Aquesta funció genera perfils de consum i de generació a partir dels quals s'obté la demanda neta (Energia demanda – Energia de consum) a partir del qual treballa l'algoritme d'optimització.

Al llarg dels programes es designa “P” com la potència horària (energia).

```
function [mPload,Pgen,mPVPC,PVPC,P] = profiles(flag_med, tipoCl, Pcontr,
Econs, flag_PV,Egen, efPV);
%% Genera unos perfiles de demanda, PVPC y generación fotovoltaica para
el
%% cliente a estudiar

close all
Pgen=[];
%% Pdemanda
if flag_med
    %genera perfil de demanda desde fichero de medida
    load medidas.txt
    mes = medidas(:,1);
    dia = medidas(:,2);
    hora = medidas(:,3);
    Pload = medidas(:,4);

else
    %genera perfil de demanda desde perfiles estándar de REE
    load perfiles.txt
    Pa = perfiles(:,4);
    Pb = perfiles(:,5);
    Pc = perfiles(:,6);
    Pd = perfiles(:,7);
    switch tipoCl
        case 1
            % 2.0
            Pload = Pa*Econs;
        case 2
            % 2.0DHA
            Pload = Pb*Econs;
        case 3
            %3.0
            Pload = Pc*Econs;
        case 4
            %2.0DHS
            Pload = Pd*Econs;
    end
end
%% P to format matrix 365x24
f_draw_monotona (Pload,'Demanda bruta [kW]') ;
```

Existeix l'opció de carregar dades des d'un arxiu .txt (medidas.txt) o dels models 1,2,3,4

```

mPload = hazMatriz(Pload);
f_draw_map(mPload, 'Carga',1);
f_draw_surf(mPload, 'Carga',1);
uso_bat(mPload, Pcontr, 0.2, 0.4);
histogramas(mPload);

```

```

%% PV generation profile
mPgen=[];
if flag_PV
    load PVgen.txt
    Pgen = PVgen(:,4)*efPV*Egen;
    %Pgen to format matrix 365x24
    mPgen = hazMatriz(Pgen);
end
if flag_PV==1
    f_draw_monotona (Pload-Pgen, 'Demanda neta [kW]' ) ;
    f_draw_map(mPgen, 'Generación',1);
    f_draw_map(mPload-mPgen, 'Demanda neta',1);
    f_draw_surf(mPgen, 'Generación',1);

    P=Pload-Pgen;
else
    P=Pload;
end

```

Genera mapes de consum i generació horaris i histogrames

```

%% PVPC
switch tipoC1
case 1
    % 2.0
    load PVPC1PPer.csv
    PVPC = PVPC1PPer;

case 2
    % 2.0DHA
    load PVPC2PerDHA.csv
    PVPC = PVPC2PerDHA;

case 3
    %3.0
    load PVPC30.csv
    PVPC = PVPC30;
    PVPC = PVPC*1000;

case 4
    %2.0DHS
    load PVPC3PerDHS.csv
    PVPC = PVPC3PerDHS;

case 6.1
    %6.1A
    load PVPC61a.csv
    PVPC = PVPC61a;
    PVPC = PVPC*1000;

case 2.1
    %2.1A

```

Carrega els preus per a cada cas a partir d'arxius .csv

```
PVPC=0.158418*ones(8760,1);
PVPC=1000*PVPC

end
PVPC = PVPC/1000;
mPVPC = hazMatriz(PVPC);
f_draw_map(mPVPC,'PVPC',1);
f_draw_surf(mPVPC,'PVPC',1);

function histogramas(mPload)
% Histograma
Hhist = 15 ;
% MINIMOS
f_draw_historama(min(mPload,[],2),Hhist,[ ' - Mínimos diarios'],'Carga
Mínima','Dias (%)') ;
% MAXIMOS
f_draw_historama(max(mPload,[],2),Hhist,[ ' - Máximos diarios'] , 'Carga
Maxima','Dias (%)') ;
% MEDIAS
f_draw_historama(nanmean(mPload,2) ,Hhist,[ ' - Medios diarios'],'Carga
Media','Dias (%)') ;
% AMPLITUDES
f_draw_historama(max(mPload,[],2)-min(mPload,[],2) ,Hhist,[ ' -
Amplitudes de curva de carga diarias'],'Amplitud de Carga','Dias (%)') ;
end
```

B. Algoritme d'optimització de la gestió energètica i funció de càlculs de càrrecs segons la legislació

```
function [Cicles,Ecompranu,mPbat,mPcompr,mPinj,mBin, mSOC,
costeOpRed,CostFix,CostCompr,CostVen,CostFixGen1,CostGenMen1]=potser(PVPC
,P,Ebat0,EMbat,Pcontr,Pbatmax,tipoc1,Pgen)
costeOpRed=[];
CostGeniFix=[];
CostGenMen=[];
for ii=1:12
    %% Parameters and constants
    if ii==1
        s0=Ebat0/EMbat;
    else
        s0=Presu(end);
    end
    %Pool=0.1*PVPC(730*(ii-1)+1:730*ii);
    Pool=ones(730,1)*0.045;
    intcon=2191:2920;
    %intcon=[];
    f=[zeros(730,1);PVPC(730*(ii-1)+1:730*ii);-Pool;zeros(1460,1)];
    %730 primeras variables Pbat
    %730 siguientes Pcomp
    %730 siguientes Pinj
    %730 siguientes Binarias =1 (comprando) =0 (inyectando)
    %730 siguientes SOC horario
    Ps=[P(730*(ii-1)+1:730*ii)];
    A1=horzcat(tril(ones(730,730)),zeros(730,2920));
    A2=horzcat(zeros(730,730),diag(ones(1,730)),zeros(730,730),-
diag(Ps),zeros(730,730));
    A3
    =horzcat(zeros(730,1460),diag(ones(1,730)),Pcontr*diag(ones(1,730)),zeros
(730,730));
    A4=horzcat(-tril(ones(730,730)),zeros(730,2920));
    A5=zeros(730,3650);
    A=[A1;A2;A3;A4;A5];

    B1=(EMbat-Ebat0)*ones(730,1);
    B2=zeros(730,1);
    B3=Pcontr*ones(730,1);
    B4=[Ebat0*ones(730,1)];
    B5=zeros(730,1);
    B=[B1;B2;B3;B4;B5];

    %A=[horzcat(zeros(24,24),-
tril(ones(24,24)));horzcat(zeros(24,24),tril(ones(24,24)))];
    %B=[zeros(24,1);EMbat*ones(24,1)];
    % Pbat0 = zeros(24);
    Aeq1=horzcat(diag(-ones(1,730)),diag(ones(1,730)),-
diag(ones(1,730)),zeros(730,1460));
    a=-tril(ones(730,730),-1)+tril(ones(730,730),-2)+diag(ones(730,1));
    Aeq2=horzcat(-1/EMbat*diag(ones(1,730)),zeros(730,2190),a);
    Aeq=[Aeq1;Aeq2];
    Beq1=P(730*(ii-1)+1:730*ii);
    Beq2=[s0;zeros(730-1,1)];
    Beq=[Beq1;Beq2];
```

```

Pbat0 = [];
lb =[-Pbatmax*ones(730,1);zeros(2920,1)];
ub
=[Pbatmax*ones(730,1);Pcontr*ones(730,1);Pcontr*ones(730,1);ones(1460,1)]
;

%% options setting

%% Linear optimization algorithm
[Presu(3650*(ii-1)+1:3650*ii),costeOpRed(ii),exitflag,output] = ...
intlinprog(f,intcon,A,B,Aeq,Beq,lb,ub,Pbat0);

if exitflag<1
    sprintf('Problemas en la optimizacion: %f',exitflag)
    sprintf('output')
    output

    sprintf('ahorro: %f €',costeOpBat)
    return
end

end
mPbat= hazMatriz2(Presu,1);
mPcompr=hazMatriz2(Presu,2);
mPinj=hazMatriz2(Presu,3);
mBin=hazMatriz2(Presu,4);
mSOC=hazMatriz2(Presu,5);
Pinj=desfermatriu(mPinj);
Pbat=desfermatriu(mPbat);
if length(Pgen)~=0
    mPgen=hazMatriz(Pgen);
end

if tipoCl==3
    if isempty(Pgen)
        CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
        %CostGenMen=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
        if length(Pcontrs)>1

CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
            end
        elseif Pbatmax<0.1
            CostFixGen1=0;
            CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
            if length(Pcontrs)>1

CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
            end
        else
            CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
            load Periodos30.csv

%Calcular matriz de consumo cliente
mPcons=mPgen-mPinj-mPbat+mPcompr;

```



```

Pcons=desfermatriu(mPcons);

Pcons=horzcat(Pcons'-Pcontr,Periodos30);
if length(Pcontrs)>1

CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
    Pcontri=min(Pcontrs);
    Pcons=desfermatriu(mPcons);
    Pcons=horzcat(Pcons'-Pcontri,Periodos30);
end
Pcons(Pcons<0)=0;
CostFixGen1=0;
for jj=1:12
    Pconsmes=Pcons(730*(jj-1)+1:730*jj,:);
    k1=find(Pconsmes(:,2)==1);
    if length(k1)==0
        maxP1(jj)=0;
    else
        maxP1(jj)=max(Pconsmes(k1,1));
    end
    k2=find(Pconsmes(:,2)==2);
    if length(k2)==0
        maxP2(jj)=0;
    else
        maxP2(jj)=max(Pconsmes(k2,1));
    end
    k3=find(Pconsmes(:,2)==3);
    if length(k3)==0
        maxP3(jj)=0;
    else
        maxP3(jj)=max(Pconsmes(k3,1));
    end
end

CostFixGen1=32.174/12*maxP1+6.403/12*maxP2+14.2668/12*maxP3;

%CostFixGen=(32.174/6*(max(Pgen-Pbat))+6.403/2*(max(Pgen-
Pbat))+14.2668/3*max(-Pbat))/8760;
%falta saber proporcions
end

if length(Pgen)~=0
    load PreuGen30.csv

    CostFixGen=CostFixGen1+CostFix;
    %CostGeniFix=(Pgen-Pinj)*PreuGen30+CostFixGen*ones(8760,1);
    Pauto=Pgen-Pinj';
    Pauto(Pauto<0)=0;
    CostGeniFix=(Pauto).*PreuGen30;
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end
    CostGenMen=CostGenMen1+CostFixGen;
end
elseif tipoCl==3.2
    if isempty(Pgen)
        CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
        %CostGenMen=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;

```

```

    if length(Pcontrs)>1
CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
    end
    elseif Pbatmax<0.1
        CostFixGen1=0;
        CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
        if length(Pcontrs)>1
CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
        end
        else
            CostFix=(40.72885+24.43733+16.29155)*Pcontr/12;
            load Periodos30M.csv
            Periodos30=Periodos30M;
            %Calcular matriz de consumo cliente
            mPcons=mPgen-mPbat+mPcompr;
            Pcons=desfermatriu(mPcons);

            Pcons=horzcat(Pcons'-Pcontr,Periodos30);
            if length(Pcontrs)>1
CostFix=(40.72885*Pcontrs(1)+24.43733*Pcontrs(2)+16.29155*Pcontrs(3))/12;
                Pcons=horzcat(Pcons'-min(Pcontrs),Periodos30);
            end
            Pcons(Pcons<0)=0;
            CostFixGen1=0;
            for jj=1:12
                Pconsmes=Pcons(730*(jj-1)+1:730*jj,:);
                k1=find(Pconsmes(:,2)==1);
                if length(k1)==0
                    maxP1(jj)=0;
                else
                    maxP1(jj)=max(Pconsmes(k1,1));
                end
                k2=find(Pconsmes(:,2)==2);
                if length(k2)==0
                    maxP2(jj)=0;
                else
                    maxP2(jj)=max(Pconsmes(k2,1));
                end
                k3=find(Pconsmes(:,2)==3);
                if length(k3)==0
                    maxP3(jj)=0;
                else
                    maxP3(jj)=max(Pconsmes(k3,1));
                end
            end
            CostFixGen1=32.174/12*maxP1+6.403/12*maxP2+14.2668/12*maxP3;

            %CostFixGen=(32.174/6*(max(Pgen-Pbat))+6.403/2*(max(Pgen-
            Pbat))+14.2668/3*max(-Pbat))/8760;
            %falta saber proporcions
        end
    end
    if length(Pgen)~=0

```




```

load PreuGen30M.csv
PreuGen30=PreuGen30M;

CostFixGen=CostFixGen1+CostFix;
%CostGeniFix=(Pgen-Pinj)*PreuGen30+CostFixGen*ones(8760,1);
Pauto=Pgen-Pinj';
Pauto(Pauto<0)=0;
CostGeniFix=(Pauto).*PreuGen30;
for j=1:12
    CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
end
CostGenMen=CostGenMen1+CostFixGen;
end
elseif tipoCl==6.1
if Pbatmax<0.1
    CostFixGen=0;
else
load Periodos61a.csv
%Calcular matriz de consumo cliente
mPcons=mPgen-mPbat+mPcompr;
Pcons=desfermatriu(mPcons);
%Pcons=horzcat(Pcons'-800,Periodos61a);
Pcons=horzcat(Pcons'-Pcontr,Periodos61a);
Pcons(Pcons<0)=0;
for jj=1:12
    Pconsmes=Pcons(730*(jj-1)+1:730*jj,:);
    k1=find(Pconsmes(:,2)==1);
    if length(k1)==0
        maxP1(jj)=0;
    else
        maxP1(jj)=max(Pconsmes(k1,1));
    end
    k2=find(Pconsmes(:,2)==2);
    if length(k2)==0
        maxP2(jj)=0;
    else
        maxP2(jj)=max(Pconsmes(k2,1));
    end
    k3=find(Pconsmes(:,2)==3);
    if length(k3)==0
        maxP3(jj)=0;
    else
        maxP3(jj)=max(Pconsmes(k3,1));
    end
    k4=find(Pconsmes(:,2)==4);
    if length(k4)==0
        maxP4(jj)=0;
    else
        maxP4(jj)=max(Pconsmes(k4,1));
    end
    k5=find(Pconsmes(:,2)==5);
    if length(k5)==0
        maxP5(jj)=0;
    else
        maxP5(jj)=max(Pconsmes(k5,1));
    end
    k6=find(Pconsmes(:,2)==6);

```

```

        if length(k6)==0
            maxP6(jj)=0;
        else
            maxP6(jj)=max(Pconsms(k6,1));
        end
    end

CostFixGen1=22.474651/12*maxP1+8.056099/12*maxP2+9.872687/12*maxP3+11.969
862/12*maxP4+14.279130/12*maxP5+4.911990/12*maxP6;
    %CostFixGen=0.074404762*22.649*(max(Pgen-
Pbat))+0.069444444*8.1767*(max(Pgen-
Pbat))+0.052083333*9.91914*(Pbatmax+Ppico)+0.086805556*11.9946*(Pbatmax+P
pico)+0.119047619*14.2797+0.583333333*4.929*(Pbatmax+Ppico);
    end
    load PreuGen61a.csv

CostFix=(39.139427+19.586654+14.334178+14.334178+14.334178+6.540177)*Pcontr/12;

%CostFix=(2.912159747+1.360184306+0.746571771+1.244286285+1.706449762+3.8
1510325)*800/12;
    CostFixGen=CostFixGen1+CostFix;
    %CostGeniFix=(Pgen-Pinj)*PreuGen30+CostFixGen*ones(8760,1);
    Pauto=Pgen-Pinj';
    Pauto(Pauto<0)=0;
    CostGeniFix=(Pauto).*PreuGen61a;
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end
    CostGenMen=CostGenMen1+CostFixGen;
elseif tipoCl==1
    %se suposa <10 kW, no hi ha costos fixos
    Pauto=Pgen-Pinj';
    Pauto(Pauto<0)=0;
    CostGeniFix=(Pauto)*0.04675;
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end

elseif tipoCl==2
    %se suposa <10 kW, no hi ha costos fixos
    load PreuGen20DHA.csv
    Pauto=Pgen-Pinj';
    Pauto(Pauto<0)=0;
    CostGeniFix=(Pauto).*PreuGen20DHA;
    CostFixGen1=0;
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end
elseif tipoCl==2.1
    CostFixGen1=0;
    CostFix=44.444710*Pcontr/12;
    if length(Pgen)~=0
        Pauto=Pgen-Pinj';
        Pauto(Pauto<0)=0;
        CostGeniFix=(Pauto)*0.058445;
        maxP=[];
        if Pcontr>10 && Pbatmax>0.1
            mPcons=mPgen-mPbat+mPcompr;

```



```

        Pcons=desfermatriu(mPcons);
        Pcons=Pcons-Pcontr;
        Pcons(Pcons<0)=0;
        for jj=1:12
            Pconsmes=Pcons(730*(jj-1)+1:730*jj);
            maxP(jj)=max(Pconsmes);
        end
        CostFixGen1=15.390453*maxP;
    end
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end
    if Pcontr>10 && Pbatmax>0.1
        CostGenMen=CostGenMen1+CostFixGen1;
    end
else
    CostGenMen1=zeros(1,12);
end

CostGenMen=CostGenMen1+CostFix;
else
    %tipo 4: 2.0DHS
    load PreuGen20DHS.csv
    Pauto=Pgen-Pinj';
    Pauto(Pauto<0)=0;
    CostGeniFix=(Pauto).*PreuGen20DHA;
    for j=1:12
        CostGenMen1(j)=sum(CostGeniFix(730*(j-1)+1:730*j));
    end
end
if isempty(Pgen)
    CostGenMen=CostFix;
    CostFixGen1=0;
    CostGenMen1=0;
end
costeOpRed=costeOpRed+CostGenMen;
CostCompr=desfermatriu(mPcompr)*PVPC;
CostVen=0.045*sum(sum(mPinj));
mPbatpos=mPbat;
mPbatpos(mPbatpos<0)=0;
Cicles=sum(sum(mPbatpos))/EMbat;
Ecompranu=sum(sum(mPcompr));
end

```

C.Taules de VAN per a cada cas

C.1. Edifici de 9 plantes

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €				-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		31 €	691,15 €	660,55 €	-13.439,45 €	660,55	-13.439 €
2		31,21 €	704,98 €	673,76 €	-12.765,68 €	673,76	-12.766 €
3		31,84 €	719,07 €	687,24 €	-12.078,45 €	687,24	-12.078 €
4		32,47 €	733,46 €	700,98 €	-11.377,46 €	700,98	-11.377 €
5		33,12 €	748,13 €	715,00 €	-10.662,46 €	715,00	-10.662 €
6		33,78 €	763,09 €	729,30 €	-9.933,16 €	729,30	-9.933 €
7		34,46 €	778,35 €	743,89 €	-9.189,27 €	743,89	-9.189 €
8		35,15 €	793,92 €	758,77 €	-8.430,50 €	758,77	-8.431 €
9		35,85 €	809,79 €	773,94 €	-7.656,56 €	773,94	-7.657 €
10		36,57 €	825,99 €	789,42 €	-6.867,14 €	789,42	-6.867 €
11		37,30 €	842,51 €	805,21 €	-6.061,93 €	805,21	-6.062 €
12		38,05 €	859,36 €	821,31 €	-5.240,62 €	821,31	-5.241 €
13		38,81 €	876,55 €	837,74 €	-4.402,88 €	837,74	-4.403 €
14		39,58 €	894,08 €	854,49 €	-3.548,38 €	854,49	-3.548 €
15		40,38 €	911,96 €	871,58 €	-2.676,80 €	871,58	-2.677 €
16		41,18 €	930,20 €	889,02 €	-1.787,78 €	889,02	-1.788 €
17		42,01 €	948,80 €	906,80 €	-880,99 €	906,80	-881 €
18		42,85 €	967,78 €	924,93 €	43,95 €	924,93	44 €
19		43,70 €	987,14 €	943,43 €	987,38 €	943,43	987 €
20		44,58 €	1.006,88 €	962,30 €	1.949,68 €	962,30	1.950 €

Taula 1. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb increment de tarifes i 0% d'interès



	Inversió	Pagaments	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €			-14100,00	-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		30 €	677,60 €	647,60 €	-13.452,40 €	647,60	-13.452 €
2		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.804,80 €	647,60	-12.805 €
3		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.157,20 €	647,60	-12.157 €
4		30 €	677,60 €	647,60 €	-11.509,60 €	647,60	-11.510 €
5		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.862,00 €	647,60	-10.862 €
6		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.214,40 €	647,60	-10.214 €
7		30 €	677,60 €	647,60 €	-9.566,80 €	647,60	-9.567 €
8		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.919,20 €	647,60	-8.919 €
9		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.271,60 €	647,60	-8.272 €
10		30 €	677,60 €	647,60 €	-7.624,00 €	647,60	-7.624 €
11		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.976,40 €	647,60	-6.976 €
12		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.328,80 €	647,60	-6.329 €
13		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.681,20 €	647,60	-5.681 €
14		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.033,60 €	647,60	-5.034 €
15		30 €	677,60 €	647,60 €	-4.386,00 €	647,60	-4.386 €
16		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.738,40 €	647,60	-3.738 €
17		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.090,80 €	647,60	-3.091 €
18		30 €	677,60 €	647,60 €	-2.443,20 €	647,60	-2.443 €
19		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.795,60 €	647,60	-1.796 €
20		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.148,00 €	647,60	-1.148 €
21		30 €	677,60 €	647,60 €	-500,40 €	647,60	-500 €
22		30 €	677,60 €	647,60 €	147,20 €	647,60	147 €

Taula 2. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb manteniment de tarifes i 0% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €			-14100,00	-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		31 €	691,15 €	660,55 €	-13.439,45 €	641,31	-13.459 €
2		31 €	704,98 €	673,76 €	-12.765,68 €	635,09	-12.824 €
3		32 €	719,07 €	687,24 €	-12.078,45 €	628,92	-12.195 €
4		32 €	733,46 €	700,98 €	-11.377,46 €	622,81	-11.572 €
5		33 €	748,13 €	715,00 €	-10.662,46 €	616,77	-10.955 €
6		34 €	763,09 €	729,30 €	-9.933,16 €	610,78	-10.344 €
7		34 €	778,35 €	743,89 €	-9.189,27 €	604,85	-9.739 €
8		35 €	793,92 €	758,77 €	-8.430,50 €	598,98	-9.140 €
9		36 €	809,79 €	773,94 €	-7.656,56 €	593,16	-8.547 €
10		37 €	825,99 €	789,42 €	-6.867,14 €	587,40	-7.960 €
11		37 €	842,51 €	805,21 €	-6.061,93 €	581,70	-7.378 €
12		38 €	859,36 €	821,31 €	-5.240,62 €	576,05	-6.802 €
13		39 €	876,55 €	837,74 €	-4.402,88 €	570,46	-6.232 €
14		40 €	894,08 €	854,49 €	-3.548,38 €	564,92	-5.667 €
15		40 €	911,96 €	871,58 €	-2.676,80 €	559,44	-5.107 €
16		41 €	930,20 €	889,02 €	-1.787,78 €	554,01	-4.553 €
17		42 €	948,80 €	906,80 €	-880,99 €	548,63	-4.005 €
18		43 €	967,78 €	924,93 €	43,95 €	543,30	-3.461 €
19		44 €	987,14 €	943,43 €	987,38 €	538,03	-2.923 €
20		45 €	1.006,88 €	962,30 €	1.949,68 €	532,80	-2.391 €
21		45 €	1.027,02 €	981,55 €	2.931,22 €	527,63	-1.863 €
22		46 €	1.047,56 €	1.001,18 €	3.932,40 €	522,51	-1.340 €
23		47 €	1.068,51 €	1.021,20 €	4.953,60 €	517,43	-823 €

Taula 3. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb increment de tarifes i 3% d'interès



	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €			-14.100 €	-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		30 €	677,60 €	647,60 €	-13.452,40 €	628,74	-13.471 €
2		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.804,80 €	610,43	-12.861 €
3		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.157,20 €	592,65	-12.268 €
4		30 €	677,60 €	647,60 €	-11.509,60 €	575,38	-11.693 €
5		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.862,00 €	558,63	-11.134 €
6		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.214,40 €	542,35	-10.592 €
7		30 €	677,60 €	647,60 €	-9.566,80 €	526,56	-10.065 €
8		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.919,20 €	511,22	-9.554 €
9		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.271,60 €	496,33	-9.058 €
10		30 €	677,60 €	647,60 €	-7.624,00 €	481,88	-8.576 €
11		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.976,40 €	467,84	-8.108 €
12		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.328,80 €	454,21	-7.654 €
13		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.681,20 €	440,98	-7.213 €
14		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.033,60 €	428,14	-6.785 €
15		30 €	677,60 €	647,60 €	-4.386,00 €	415,67	-6.369 €
16		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.738,40 €	403,56	-5.965 €
17		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.090,80 €	391,81	-5.574 €
18		30 €	677,60 €	647,60 €	-2.443,20 €	380,40	-5.193 €
19		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.795,60 €	369,32	-4.824 €
20		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.148,00 €	358,56	-4.465 €
21		30 €	677,60 €	647,60 €	-500,40 €	348,12	-4.117 €
22		30 €	677,60 €	647,60 €	147,20 €	337,98	-3.779 €
23		30 €	677,60 €	647,60 €	794,80 €	328,13	-3.451 €

Taula 4. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb manteniment de tarifes i 3% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €			-14.100 €	-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		31 €	691,15 €	660,55 €	-13.439,45 €	623,16	-13.477 €
2		31 €	704,98 €	673,76 €	-12.765,68 €	599,65	-12.877 €
3		32 €	719,07 €	687,24 €	-12.078,45 €	577,02	-12.300 €
4		32 €	733,46 €	700,98 €	-11.377,46 €	555,24	-11.745 €
5		33 €	748,13 €	715,00 €	-10.662,46 €	534,29	-11.211 €
6		34 €	763,09 €	729,30 €	-9.933,16 €	514,13	-10.697 €
7		34 €	778,35 €	743,89 €	-9.189,27 €	494,73	-10.202 €
8		35 €	793,92 €	758,77 €	-8.430,50 €	476,06	-9.726 €
9		36 €	809,79 €	773,94 €	-7.656,56 €	458,10	-9.268 €
10		37 €	825,99 €	789,42 €	-6.867,14 €	440,81	-8.827 €
11		37 €	842,51 €	805,21 €	-6.061,93 €	424,17	-8.403 €
12		38 €	859,36 €	821,31 €	-5.240,62 €	408,17	-7.994 €
13		39 €	876,55 €	837,74 €	-4.402,88 €	392,77	-7.602 €
14		40 €	894,08 €	854,49 €	-3.548,38 €	377,94	-7.224 €
15		40 €	911,96 €	871,58 €	-2.676,80 €	363,68	-6.860 €
16		41 €	930,20 €	889,02 €	-1.787,78 €	349,96	-6.510 €
17		42 €	948,80 €	906,80 €	-880,99 €	336,75	-6.173 €
18		43 €	967,78 €	924,93 €	43,95 €	324,04	-5.849 €
19		44 €	987,14 €	943,43 €	987,38 €	311,82	-5.538 €
20		45 €	1.006,88 €	962,30 €	1.949,68 €	300,05	-5.237 €
21		45 €	1.027,02 €	981,55 €	2.931,22 €	288,73	-4.949 €

Taula 5. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb increment de tarifes i 6% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-14.100 €			-14.100 €	-14.100 €	-14100,00	-14.100 €
1		30 €	677,60 €	647,60 €	-13.452,40 €	610,94	-13.489 €
2		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.804,80 €	576,36	-12.913 €
3		30 €	677,60 €	647,60 €	-12.157,20 €	543,74	-12.369 €
4		30 €	677,60 €	647,60 €	-11.509,60 €	512,96	-11.856 €
5		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.862,00 €	483,92	-11.372 €
6		30 €	677,60 €	647,60 €	-10.214,40 €	456,53	-10.916 €
7		30 €	677,60 €	647,60 €	-9.566,80 €	430,69	-10.485 €
8		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.919,20 €	406,31	-10.079 €
9		30 €	677,60 €	647,60 €	-8.271,60 €	383,31	-9.695 €
10		30 €	677,60 €	647,60 €	-7.624,00 €	361,62	-9.334 €
11		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.976,40 €	341,15	-8.992 €
12		30 €	677,60 €	647,60 €	-6.328,80 €	321,84	-8.671 €
13		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.681,20 €	303,62	-8.367 €
14		30 €	677,60 €	647,60 €	-5.033,60 €	286,43	-8.081 €
15		30 €	677,60 €	647,60 €	-4.386,00 €	270,22	-7.810 €
16		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.738,40 €	254,93	-7.555 €
17		30 €	677,60 €	647,60 €	-3.090,80 €	240,50	-7.315 €
18		30 €	677,60 €	647,60 €	-2.443,20 €	226,88	-7.088 €
19		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.795,60 €	214,04	-6.874 €
20		30 €	677,60 €	647,60 €	-1.148,00 €	201,92	-6.672 €
21		30 €	677,60 €	647,60 €	-500,40 €	190,50	-6.482 €
22		30 €	677,60 €	647,60 €	147,20 €	179,71	-6.302 €
23		30 €	677,60 €	647,60 €	794,80 €	169,54	-6.132 €
24		30 €	677,60 €	647,60 €	1.442,40 €	159,94	-5.972 €

Taula 6. Càlcul del VAN per l'edifici de 9 plantes amb manteniment de tarifes i 6% d'interès

C.2. Cas 2: Edifici de 3 plantes

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €				-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		51 €	775,08 €	724,08 €	-10.965,92 €	724,08	-10.966 €
2		52,02 €	790,58 €	738,56 €	-10.227,36 €	738,56	-10.227 €
3		53,06 €	806,39 €	753,33 €	-9.474,03 €	753,33	-9.474 €
4		54,12 €	822,52 €	768,40 €	-8.705,64 €	768,40	-8.706 €
5		55,20 €	838,97 €	783,76 €	-7.921,87 €	783,76	-7.922 €
6		56,31 €	855,75 €	799,44 €	-7.122,43 €	799,44	-7.122 €
7		57,43 €	872,86 €	815,43 €	-6.307,00 €	815,43	-6.307 €
8		58,58 €	890,32 €	831,74 €	-5.475,26 €	831,74	-5.475 €
9		59,75 €	908,13 €	848,37 €	-4.626,89 €	848,37	-4.627 €
10		60,95 €	926,29 €	865,34 €	-3.761,55 €	865,34	-3.762 €
11		62,17 €	944,82 €	882,65 €	-2.878,91 €	882,65	-2.879 €
12		63,41 €	963,71 €	900,30 €	-1.978,61 €	900,30	-1.979 €
13		64,68 €	982,99 €	918,31 €	-1.060,30 €	918,31	-1.060 €
14		65,97 €	1.002,65 €	936,67 €	-123,63 €	936,67	-124 €
15		67,29 €	1.022,70 €	955,41 €	831,78 €	955,41	832 €
16		68,64 €	1.043,15 €	974,51 €	1.806,29 €	974,51	1.806 €
17		70,01 €	1.064,02 €	994,00 €	2.800,29 €	994,00	2.800 €
18		71,41 €	1.085,30 €	1.013,88 €	3.814,18 €	1013,88	3.814 €
19		72,84 €	1.107,00 €	1.034,16 €	4.848,34 €	1034,16	4.848 €
20		74,30 €	1.129,14 €	1.054,84 €	5.903,18 €	1054,84	5.903 €

Taula 7. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb augment de tarifes i 0% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €			-11690,00	-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.980,12 €	709,88	-10.980 €
2		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.270,24 €	709,88	-10.270 €
3		50 €	759,88 €	709,88 €	-9.560,36 €	709,88	-9.560 €
4		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.850,48 €	709,88	-8.850 €
5		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.140,60 €	709,88	-8.141 €
6		50 €	759,88 €	709,88 €	-7.430,72 €	709,88	-7.431 €
7		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.720,84 €	709,88	-6.721 €
8		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.010,96 €	709,88	-6.011 €
9		50 €	759,88 €	709,88 €	-5.301,08 €	709,88	-5.301 €
10		50 €	759,88 €	709,88 €	-4.591,20 €	709,88	-4.591 €
11		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.881,32 €	709,88	-3.881 €
12		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.171,44 €	709,88	-3.171 €
13		50 €	759,88 €	709,88 €	-2.461,56 €	709,88	-2.462 €
14		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.751,68 €	709,88	-1.752 €
15		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.041,80 €	709,88	-1.042 €
16		50 €	759,88 €	709,88 €	-331,92 €	709,88	-332 €
17		50 €	759,88 €	709,88 €	377,96 €	709,88	378 €
18		50 €	759,88 €	709,88 €	1.087,84 €	709,88	1.088 €
19		50 €	759,88 €	709,88 €	1.797,72 €	709,88	1.798 €
20		50 €	759,88 €	709,88 €	2.507,60 €	709,88	2.508 €

Taula 8. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb manteniment de tarifes i 0% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €			-11690,00	-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		51 €	775,08 €	724,08 €	-10.965,92 €	702,99	-10.987 €
2		52 €	790,58 €	738,56 €	-10.227,36 €	696,16	-10.291 €
3		53 €	806,39 €	753,33 €	-9.474,03 €	689,40	-9.601 €
4		54 €	822,52 €	768,40 €	-8.705,64 €	682,71	-8.919 €
5		55 €	838,97 €	783,76 €	-7.921,87 €	676,08	-8.243 €
6		56 €	855,75 €	799,44 €	-7.122,43 €	669,52	-7.573 €
7		57 €	872,86 €	815,43 €	-6.307,00 €	663,02	-6.910 €
8		59 €	890,32 €	831,74 €	-5.475,26 €	656,58	-6.254 €
9		60 €	908,13 €	848,37 €	-4.626,89 €	650,21	-5.603 €
10		61 €	926,29 €	865,34 €	-3.761,55 €	643,89	-4.959 €
11		62 €	944,82 €	882,65 €	-2.878,91 €	637,64	-4.322 €
12		63 €	963,71 €	900,30 €	-1.978,61 €	631,45	-3.690 €
13		65 €	982,99 €	918,31 €	-1.060,30 €	625,32	-3.065 €
14		66 €	1.002,65 €	936,67 €	-123,63 €	619,25	-2.446 €
15		67 €	1.022,70 €	955,41 €	831,78 €	613,24	-1.833 €
16		69 €	1.043,15 €	974,51 €	1.806,29 €	607,28	-1.225 €
17		70 €	1.064,02 €	994,00 €	2.800,29 €	601,39	-624 €
18		71 €	1.085,30 €	1.013,88 €	3.814,18 €	595,55	-28 €
19		73 €	1.107,00 €	1.034,16 €	4.848,34 €	589,77	561 €
20		74 €	1.129,14 €	1.054,84 €	5.903,18 €	584,04	1.146 €

Taula 9. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb augment de tarifes amb 3% interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €			-11.690 €	-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.980,12 €	702,99	-10.987 €
2		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.270,24 €	682,51	-10.304 €
3		50 €	759,88 €	709,88 €	-9.560,36 €	662,63	-9.642 €
4		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.850,48 €	643,33	-8.999 €
5		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.140,60 €	624,60	-8.374 €
6		50 €	759,88 €	709,88 €	-7.430,72 €	606,40	-7.768 €
7		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.720,84 €	588,74	-7.179 €
8		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.010,96 €	571,59	-6.607 €
9		50 €	759,88 €	709,88 €	-5.301,08 €	554,95	-6.052 €
10		50 €	759,88 €	709,88 €	-4.591,20 €	538,78	-5.513 €
11		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.881,32 €	523,09	-4.990 €
12		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.171,44 €	507,85	-4.483 €
13		50 €	759,88 €	709,88 €	-2.461,56 €	493,06	-3.989 €
14		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.751,68 €	478,70	-3.511 €
15		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.041,80 €	464,76	-3.046 €
16		50 €	759,88 €	709,88 €	-331,92 €	451,22	-2.595 €
17		50 €	759,88 €	709,88 €	377,96 €	438,08	-2.157 €
18		50 €	759,88 €	709,88 €	1.087,84 €	425,32	-1.731 €
19		50 €	759,88 €	709,88 €	1.797,72 €	412,93	-1.318 €
20		50 €	759,88 €	709,88 €	2.507,60 €	400,90	-918 €

Taula 10. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb manteniment de tarifes i 3% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €			-11.690 €	-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		51 €	775,08 €	724,08 €	-10.965,92 €	683,09	-11.007 €
2		52 €	790,58 €	738,56 €	-10.227,36 €	657,32	-10.350 €
3		53 €	806,39 €	753,33 €	-9.474,03 €	632,51	-9.717 €
4		54 €	822,52 €	768,40 €	-8.705,64 €	608,64	-9.108 €
5		55 €	838,97 €	783,76 €	-7.921,87 €	585,67	-8.523 €
6		56 €	855,75 €	799,44 €	-7.122,43 €	563,57	-7.959 €
7		57 €	872,86 €	815,43 €	-6.307,00 €	542,31	-7.417 €
8		59 €	890,32 €	831,74 €	-5.475,26 €	521,84	-6.895 €
9		60 €	908,13 €	848,37 €	-4.626,89 €	502,15	-6.393 €
10		61 €	926,29 €	865,34 €	-3.761,55 €	483,20	-5.910 €
11		62 €	944,82 €	882,65 €	-2.878,91 €	464,97	-5.445 €
12		63 €	963,71 €	900,30 €	-1.978,61 €	447,42	-4.997 €
13		65 €	982,99 €	918,31 €	-1.060,30 €	430,54	-4.567 €
14		66 €	1.002,65 €	936,67 €	-123,63 €	414,29	-4.152 €
15		67 €	1.022,70 €	955,41 €	831,78 €	398,66	-3.754 €
16		69 €	1.043,15 €	974,51 €	1.806,29 €	383,61	-3.370 €
17		70 €	1.064,02 €	994,00 €	2.800,29 €	369,14	-3.001 €
18		71 €	1.085,30 €	1.013,88 €	3.814,18 €	355,21	-2.646 €
19		73 €	1.107,00 €	1.034,16 €	4.848,34 €	341,80	-2.304 €
20		74 €	1.129,14 €	1.054,84 €	5.903,18 €	328,91	-1.975 €
21		76 €	1.151,72 €	1.075,94 €	6.979,12 €	316,49	-1.659 €

Taula 11. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb augment de tarifes i 6% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-11.690 €			-11.690 €	-11.690 €	-11690,00	-11.690 €
1		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.980,12 €	669,70	-11.020 €
2		50 €	759,88 €	709,88 €	-10.270,24 €	631,79	-10.389 €
3		50 €	759,88 €	709,88 €	-9.560,36 €	596,03	-9.792 €
4		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.850,48 €	562,29	-9.230 €
5		50 €	759,88 €	709,88 €	-8.140,60 €	530,46	-8.700 €
6		50 €	759,88 €	709,88 €	-7.430,72 €	500,44	-8.199 €
7		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.720,84 €	472,11	-7.727 €
8		50 €	759,88 €	709,88 €	-6.010,96 €	445,39	-7.282 €
9		50 €	759,88 €	709,88 €	-5.301,08 €	420,18	-6.862 €
10		50 €	759,88 €	709,88 €	-4.591,20 €	396,39	-6.465 €
11		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.881,32 €	373,96	-6.091 €
12		50 €	759,88 €	709,88 €	-3.171,44 €	352,79	-5.738 €
13		50 €	759,88 €	709,88 €	-2.461,56 €	332,82	-5.406 €
14		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.751,68 €	313,98	-5.092 €
15		50 €	759,88 €	709,88 €	-1.041,80 €	296,21	-4.795 €
16		50 €	759,88 €	709,88 €	-331,92 €	279,44	-4.516 €
17		50 €	759,88 €	709,88 €	377,96 €	263,62	-4.252 €
18		50 €	759,88 €	709,88 €	1.087,84 €	248,70	-4.004 €
19		50 €	759,88 €	709,88 €	1.797,72 €	234,62	-3.769 €
20		50 €	759,88 €	709,88 €	2.507,60 €	221,34	-3.548 €

Taula 12. Càlcul del VAN per l'edifici de 3 plantes amb manteniment de tarifes i 6% d'interès

C.3. Cas 3: Edifici de 18 plantes

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-61.530 €			-61.530 €	-61.530 €	-61530,00	-61.530 €
1		41 €	3.296,55 €	3.255,75 €	-58.274,25 €	3255,75	-58.274 €
2		41,62 €	3.362,48 €	3.320,86 €	-54.953,39 €	3320,86	-54.953 €
3		42,45 €	3.429,73 €	3.387,28 €	-51.566,11 €	3387,28	-51.566 €
4		43,30 €	3.498,32 €	3.455,03 €	-48.111,08 €	3455,03	-48.111 €
5		44,16 €	3.568,29 €	3.524,13 €	-44.586,96 €	3524,13	-44.587 €
6		45,05 €	3.639,66 €	3.594,61 €	-40.992,35 €	3594,61	-40.992 €
7		45,95 €	3.712,45 €	3.666,50 €	-37.325,85 €	3666,50	-37.326 €
8		46,87 €	3.786,70 €	3.739,83 €	-33.586,01 €	3739,83	-33.586 €
9		47,80 €	3.862,43 €	3.814,63 €	-29.771,39 €	3814,63	-29.771 €
10		48,76 €	3.939,68 €	3.890,92 €	-25.880,47 €	3890,92	-25.880 €
11		49,73 €	4.018,47 €	3.968,74 €	-21.911,73 €	3968,74	-21.912 €
12		50,73 €	4.098,84 €	4.048,11 €	-17.863,61 €	4048,11	-17.864 €
13		51,74 €	4.180,82 €	4.129,08 €	-13.734,54 €	4129,08	-13.735 €
14		52,78 €	4.264,44 €	4.211,66 €	-9.522,88 €	4211,66	-9.523 €
15		53,83 €	4.349,73 €	4.295,89 €	-5.226,99 €	4295,89	-5.227 €
16		54,91 €	4.436,72 €	4.381,81 €	-845,18 €	4381,81	-845 €
17		56,01 €	4.525,45 €	4.469,44 €	3.624,26 €	4469,44	3.624 €
18		57,13 €	4.615,96 €	4.558,83 €	8.183,10 €	4558,83	8.183 €
19		58,27 €	4.708,28 €	4.650,01 €	12.833,11 €	4650,01	12.833 €
20		59,44 €	4.802,45 €	4.743,01 €	17.576,12 €	4743,01	17.576 €

Taula 13. Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb augment de tarifes i 0% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-61.530 €				-61.530 €	-61530,00	-61.530 €
1		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-58.338,09 €	3191,91	-58.338 €
2		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-55.146,18 €	3191,91	-55.146 €
3		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-51.954,27 €	3191,91	-51.954 €
4		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-48.762,36 €	3191,91	-48.762 €
5		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-45.570,45 €	3191,91	-45.570 €
6		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-42.378,54 €	3191,91	-42.379 €
7		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-39.186,63 €	3191,91	-39.187 €
8		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-35.994,72 €	3191,91	-35.995 €
9		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-32.802,81 €	3191,91	-32.803 €
10		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-29.610,90 €	3191,91	-29.611 €
11		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-26.418,99 €	3191,91	-26.419 €
12		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-23.227,08 €	3191,91	-23.227 €
13		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-20.035,17 €	3191,91	-20.035 €
14		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-16.843,26 €	3191,91	-16.843 €
15		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-13.651,35 €	3191,91	-13.651 €
16		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-10.459,44 €	3191,91	-10.459 €
17		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-7.267,53 €	3191,91	-7.268 €
18		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-4.075,62 €	3191,91	-4.076 €
19		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-883,71 €	3191,91	-884 €
20		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	2.308,20 €	3191,91	2.308 €

Taula 14. Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb manteniment de tarifes i 0% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-61.530 €			-61.530 €	-61.530 €	-61530,00	-61.530 €
1		41 €	3.296,55 €	3.255,75 €	-58.274,25 €	3160,92	-58.369 €
2		42 €	3.362,48 €	3.320,86 €	-54.953,39 €	3130,23	-55.239 €
3		42 €	3.429,73 €	3.387,28 €	-51.566,11 €	3099,84	-52.139 €
4		43 €	3.498,32 €	3.455,03 €	-48.111,08 €	3069,75	-49.069 €
5		44 €	3.568,29 €	3.524,13 €	-44.586,96 €	3039,94	-46.029 €
6		45 €	3.639,66 €	3.594,61 €	-40.992,35 €	3010,43	-43.019 €
7		46 €	3.712,45 €	3.666,50 €	-37.325,85 €	2981,20	-40.038 €
8		47 €	3.786,70 €	3.739,83 €	-33.586,01 €	2952,26	-37.085 €
9		48 €	3.862,43 €	3.814,63 €	-29.771,39 €	2923,59	-34.162 €
10		49 €	3.939,68 €	3.890,92 €	-25.880,47 €	2895,21	-31.267 €
11		50 €	4.018,47 €	3.968,74 €	-21.911,73 €	2867,10	-28.400 €
12		51 €	4.098,84 €	4.048,11 €	-17.863,61 €	2839,27	-25.560 €
13		52 €	4.180,82 €	4.129,08 €	-13.734,54 €	2811,70	-22.749 €
14		53 €	4.264,44 €	4.211,66 €	-9.522,88 €	2784,40	-19.964 €
15		54 €	4.349,73 €	4.295,89 €	-5.226,99 €	2757,37	-17.207 €
16		55 €	4.436,72 €	4.381,81 €	-845,18 €	2730,60	-14.476 €
17		56 €	4.525,45 €	4.469,44 €	3.624,26 €	2704,09	-11.772 €
18		57 €	4.615,96 €	4.558,83 €	8.183,10 €	2677,83	-9.094 €
19		58 €	4.708,28 €	4.650,01 €	12.833,11 €	2651,84	-6.442 €
20		59 €	4.802,45 €	4.743,01 €	17.576,12 €	2626,09	-3.816 €
21		61 €	4.898,50 €	4.837,87 €	22.413,99 €	2600,59	-1.216 €
22		62 €	4.996,47 €	4.934,63 €	27.348,62 €	2575,35	1.360 €

Taula 15.Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb augment de tarifes i 3% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-61.530 €			-61.530 €	-61.530 €	-61530,00	-61.530 €
1		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-58.338,09 €	3098,94	-58.431 €
2		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-55.146,18 €	3008,68	-55.422 €
3		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-51.954,27 €	2921,05	-52.501 €
4		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-48.762,36 €	2835,97	-49.665 €
5		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-45.570,45 €	2753,37	-46.912 €
6		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-42.378,54 €	2673,17	-44.239 €
7		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-39.186,63 €	2595,31	-41.643 €
8		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-35.994,72 €	2519,72	-39.124 €
9		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-32.802,81 €	2446,33	-36.677 €
10		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-29.610,90 €	2375,08	-34.302 €
11		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-26.418,99 €	2305,90	-31.996 €
12		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-23.227,08 €	2238,74	-29.758 €
13		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-20.035,17 €	2173,54	-27.584 €
14		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-16.843,26 €	2110,23	-25.474 €
15		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-13.651,35 €	2048,77	-23.425 €
16		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-10.459,44 €	1989,09	-21.436 €
17		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-7.267,53 €	1931,16	-19.505 €
18		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-4.075,62 €	1874,91	-17.630 €
19		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-883,71 €	1820,30	-15.810 €
20		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	2.308,20 €	1767,28	-14.042 €

Taula 16. Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb manteniment de tarifes i 3% d'interès

	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]		VAN
0	-61.530 €			-61.530 €	-61.530 €	-61530,00		-61.530 €
1		41 €	3.296,55 €	3.255,75 €	-58.274,25 €	3071,46		-58.459 €
2		42 €	3.362,48 €	3.320,86 €	-54.953,39 €	2955,56		-55.503 €
3		42 €	3.429,73 €	3.387,28 €	-51.566,11 €	2844,03		-52.659 €
4		43 €	3.498,32 €	3.455,03 €	-48.111,08 €	2736,70		-49.922 €
5		44 €	3.568,29 €	3.524,13 €	-44.586,96 €	2633,43		-47.289 €
6		45 €	3.639,66 €	3.594,61 €	-40.992,35 €	2534,06		-44.755 €
7		46 €	3.712,45 €	3.666,50 €	-37.325,85 €	2438,43		-42.316 €
8		47 €	3.786,70 €	3.739,83 €	-33.586,01 €	2346,42		-39.970 €
9		48 €	3.862,43 €	3.814,63 €	-29.771,39 €	2257,87		-37.712 €
10		49 €	3.939,68 €	3.890,92 €	-25.880,47 €	2172,67		-35.539 €
11		50 €	4.018,47 €	3.968,74 €	-21.911,73 €	2090,68		-33.449 €
12		51 €	4.098,84 €	4.048,11 €	-17.863,61 €	2011,79		-31.437 €
13		52 €	4.180,82 €	4.129,08 €	-13.734,54 €	1935,87		-29.501 €
14		53 €	4.264,44 €	4.211,66 €	-9.522,88 €	1862,82		-27.638 €
15		54 €	4.349,73 €	4.295,89 €	-5.226,99 €	1792,53		-25.846 €
16		55 €	4.436,72 €	4.381,81 €	-845,18 €	1724,88		-24.121 €
17		56 €	4.525,45 €	4.469,44 €	3.624,26 €	1659,79		-22.461 €
18		57 €	4.615,96 €	4.558,83 €	8.183,10 €	1597,16		-20.864 €
19		58 €	4.708,28 €	4.650,01 €	12.833,11 €	1536,89		-19.327 €
20		59 €	4.802,45 €	4.743,01 €	17.576,12 €	1478,89		-17.848 €

Taula 17. Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb augment de tarifes i 6% d'interès



	Inversió	Revisió	Estalvi	Flux Tres. [€]	Flux Tres. Acum. [€]	Flux Tres. Act. [€]	VAN
0	-61.530 €			-61.530 €	-61.530 €	-61530,00	-61.530 €
1		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-58.338,09 €	3011,24	-58.519 €
2		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-55.146,18 €	2840,79	-55.678 €
3		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-51.954,27 €	2679,99	-52.998 €
4		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-48.762,36 €	2528,29	-50.470 €
5		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-45.570,45 €	2385,18	-48.085 €
6		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-42.378,54 €	2250,17	-45.834 €
7		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-39.186,63 €	2122,80	-43.712 €
8		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-35.994,72 €	2002,64	-41.709 €
9		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-32.802,81 €	1889,29	-39.820 €
10		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-29.610,90 €	1782,35	-38.037 €
11		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-26.418,99 €	1681,46	-36.356 €
12		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-23.227,08 €	1586,28	-34.770 €
13		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-20.035,17 €	1496,49	-33.273 €
14		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-16.843,26 €	1411,78	-31.861 €
15		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-13.651,35 €	1331,87	-30.529 €
16		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-10.459,44 €	1256,48	-29.273 €
17		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-7.267,53 €	1185,36	-28.088 €
18		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-4.075,62 €	1118,27	-26.969 €
19		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	-883,71 €	1054,97	-25.914 €
20		40 €	3.231,91 €	3.191,91 €	2.308,20 €	995,25	-24.919 €

Taula 18. Càlcul del VAN per l'edifici de 18 plantes amb manteniment de tarifes i 6% d'interès